This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1900.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1900.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1900

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 19 JANVIER 1900

PAR M. LE GÉNÉRAL BASSOT,

Président sortant de la Société française de Physique.

« MES CHERS COLLÈGUES,

Arrivé au terme de ma présidence, je dois, pour me conformer à la tradition, vous résumer l'activité de notre Société pendant l'exercice écoulé. C'est un discours à vous faire qui m'effraie un peu. Aussi bien n'ai-je pas, pour vous entretenir, les qualités que vous avez toujours trouvées chez ceux qui m'ont précédé à ce fauteuil : je n'ai aucun scrupule à l'avouer. Je suis géodésien surtout, physicien seulement par occasion. Je parle difficilement votre langue ; je ne la comprends pas toujours, tellement les sujets que vous traitez sont au-dessus de mes faibles connaissances.

Pourquoi donc alors avez-vous porté vos suffrages sur un de vos collègues les plus incompétents ? Je crois l'avoir deviné et vais trahir votre dessein. L'armée a quelques disciples de la science, trop rares à mon gré : de ceux-là quelques-uns s'égarent dans votre Société pour y rafraîchir ou plutôt pour y développer les connaissances qu'ils ont autrefois puisées dans les écoles ; non seulement vous les accueillez avec sympathie, mais vous avez voulu en distinguer un pour encourager les autres ; c'est ainsi que vous m'avez fait l'honneur très grand, mais immérité, de diriger vos séances. De cela, Messieurs,

je vous remercie profondément, et vous en garde une reconnaissance infinie.

Je dois vous avouer encore que, si la charge de vous présider m'a paru redoutable au début, je me suis bien vite rassuré quand j'ai constaté votre indulgence et quand je me suis senti soutenu par des collaborateurs aussi distingués que ceux que vous avez placés à côté de moi au Bureau ; oui, M. Lucien Poincaré, qui a fonctionné, comme secrétaire général, avec une telle autorité que vous ne vous êtes pas aperçu qu'il faisait ses débuts ; M. Raveau, qui vous a fourni des comptes rendus si complets et si soignés ; M. de la Touanne, qui a administré nos intérêts financiers avec tant d'habileté, sans oublier M. Sandoz, un préparateur de nos séances aussi dévoué que compétent, tous ont tant fait que je n'ai eu nulle peine, nul souci ; je n'avais, à chaque séance, que le plaisir de vous écouter quand vous traitiez les questions si intéressantes à l'ordre du jour.

Il est temps, Messieurs, que je vous parle de la Société, que je résume son bilan pendant l'année 1899.

Saluons une dernière fois de nos sincères et sympathiques regrets ceux que la mort nous a ravis, tant à Paris qu'en province et à l'Etranger ; la liste en est toujours trop longue : ce sont MM. Mergier, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris ; Friedel, membre de l'Institut, ancien Président de la Société ; — Lebard, Professeur au Lycée d'Angoulême ; — Dupré, Inspecteur honoraire de l'Académie de Paris ; — Roger, Chef d'institution honoraire à Paris ; — Jannettaz (Ed.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences ; — Cauro, Docteur ès sciences, ancien élève de l'Ecole polytechnique ; — Neyreneuf, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen, ancien membre du Conseil ; — Zupp, ancien Professeur au Lycée de Brest ; — Cavaillé-Coll, Facteur d'orgues ; — Raffard, Ingénieur civil ; — Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique ; — Dubois, Professeur au Lycée d'Amiens.

Ces vides ont été comblés et au delà par l'entrée de nouveaux Membres. Cette année, nous avons la bonne fortune d'en compter 41, tandis qu'en 1898 nous n'en avions que 28 ; si l'on défalque de ce chiffre le nombre des décédés et des démissionnaires, qui est de 28, nous avons, en définitive, une augmentation de 13 Membres, et le nombre des adhérents à notre Société est aujourd'hui de 880. C'est un fait dont nous devons nous réjouir. Il est à espérer, d'ailleurs, que

l'année 1900 nous apportera un contingent encore supérieur d'adhérents nouveaux. La Société aura l'occasion d'affirmer sa vitalité, lors du Congrès international de Physique, dont je vous dirai quelques mots dans un instant, et nous avons le droit d'escompter cette réunion, qui nous fera plus connaître et, j'ose le dire, qui nous fera plus apprécier.

Par le compte rendu financier qui vous a été distribué, vous avez pu vous rendre compte du bon état de nos finances; cette année, nos recettes sont passées de 15.800 à 29.400 francs environ ; il est vrai que, dans ce dernier chiffre, nous enregistrons des libéralités s'élevant à plus de 11.000 francs et un remboursement de sept obligations; mais nos recettes normales sont légèrement en augmentation sur celles de 1898. Le chapitre des dépenses s'est ressenti de cette plus-value; nous avons pu payer 15.800 francs d'impressions, comprenant les frais du deuxième volume des *Constantes* et l'arriéré du *Bulletin* et des *Ordres du jour* pour 1897 et 1898. Par contre, nous n'avons racheté que cinq obligations sur les sept remboursées; il y aura lieu d'en acheter encore deux pour nous conformer aux statuts. Il est encore à remarquer que notre actif en volumes disponibles pour la vente est passé de 28.000 francs à près de 35.000 francs. Bien que cette ressource soit à longue échéance, elle n'en a pas moins une importance sérieuse pour l'avenir de la Société.

En résumé, notre situation est satisfaisante; mais elle n'a rien d'éblouissant ; nous sommes juste assez riches pour payer nos dépenses obligatoires; aussi, quand survient un extra à solder, serions-nous obligés de puiser sur le capital, si nous ne trouvions, chaque fois, de généreux donateurs qui viennent gracieusement, pardonnez-moi l'expression, nous délivrer de cette épine. Ainsi, cette année, nous avons eu les largesses de M. Gauthier-Villars, de M. de Coppet, et principalement celles d'un de nos Collègues, endurci dans l'anonymat, mais que vous connaissez assez par ses dons aussi fréquents qu'importants ; puisqu'il ne veut pas être cité, nous le confondrons avec MM. Gauthier-Villars et de Coppet, pour leur adresser à tous les trois nos vifs et sincères remerciements.

Ces comptes de gestion, Messieurs, vous laissent peut-être un peu froids, et je le comprends : vous ne vous en préoccupez que juste ce qu'il faut pour être assurés que la Société peut vivre sans difficulté, car vous n'avez en vue que les progrès de la science, et c'est pour développer, pour encourager les découvertes, que vous vous êtes

associés et venez ici, chaque quinzaine, applaudir nos conférenciers.

Cette année, nous avons eu de très intéressantes communications. Je n'aurai pas la prétention de les résumer. J'en serais réduit à déflorer les sujets qui en ont été l'objet. Qu'il me soit cependant permis de rappeler que les questions d'actualité physique ont été magistralement traitées dans cette enceinte et que la Société a continué à affirmer son caractère exclusivement scientifique en n'abordant que des problèmes de découverte, qui contribuent si puissamment au développement de la physique. Nos conférenciers ont été nombreux et se sont très obligeamment prêtés au désir que nous avions de les entendre développer leurs recherches et leurs théories. Au nom de la Société, je les remercie particulièrement.

Notre Exposition annuelle, aux séances de Pâques des 7 et 8 avril, a été extrêmement brillante : vous en avez eu un compte rendu, magistralement traité par notre sympathique secrétaire général, M. Lucien Poincaré. Je n'y reviens que pour constater avec quel empressement nos constructeurs contribuent à en assurer le succès ; l'attrait en est si puissant qu'elle constitue maintenant un véritable événement parisien, qui nous attire un public nombreux, avide de s'initier aux merveilles de notre science.

Enfin, Messieurs, une nouvelle manifestation de notre vie scientifique, dans le cours de l'année dernière, se trouve dans la publication du deuxième volume des *Constantes*, dû, comme le précédent, à notre collègue M. Dufet ; celui-ci, avec un dévouement infatigable, auquel vous rendrez avec moi un éclatant hommage, met la dernière main au troisième et dernier volume, qui comprendra les *Constantes optiques*, et ainsi, grâce à lui, la Société aura élevé un durable monument, qui lui fera le plus grand honneur. Plusieurs membres, d'ailleurs, s'occupent activement de préparer des publications pour d'autres parties de la physique ; l'œuvre si admirablement commencée se continuera donc, au grand profit de notre Société et de la science française.

Il me reste à vous parler du Congrès international de Physique dont notre Société a pris l'initiative, et qui est définitivement fixé au 6 août prochain. Vous savez qu'une Commission d'organisation a été chargée de préparer cette importante réunion. Il est permis d'affirmer aujourd'hui que le succès de ce Congrès est assuré, tant au point de vue du nombre des adhérents qu'au point de vue des rapports et communications, dont beaucoup sont déjà annoncés et paraissent

devoir présenter un grand intérêt. Mais il importe que tous les membres de la Société tiennent à honneur de participer aux travaux et de recevoir dignement les nombreux étrangers qui ont répondu à notre appel. Je suis certain d'avance qu'ils ne failliront pas à ce devoir.

C'est en prévision de cette solennité que vous avez cru devoir déroger à l'usage traditionnel de l'alternance des présidents, et que vous avez désigné, pour vous présider en 1900, l'éminent doyen de la Section de Physique à l'Académie des Sciences, dont la haute science et l'expérience consommée sont des garants pour la réussite de l'œuvre.

Messieurs, je vous remercie encore une fois de l'honneur insigne que vous m'avez fait, et j'invite M. Cornu à prendre le fauteuil de la Présidence.

Absorption des radiations Hertziennes par les liquides;

Par M. Edouard Branly [1].

Le rayonnement électrique traverse un grand nombre de substances opaques pour la lumière; la facilité avec laquelle le bois, les étoffes et même les murs ont souvent permis la transmission a pu faire supposer que la plupart des substances laisseraient passer les ondes hertziennes. Cependant les métaux donnent lieu à une absorption complète, s'ils n'offrent pas de fentes; une enveloppe métallique extrêmement mince suffit et même un grillage à mailles serrées. Des feuilles d'étain, de moins de 8 millièmes de millimètre d'épaisseur, opposent un obstacle absolu à des radiations définies par les conditions dans lesquelles les expériences ont été faites [2]. J'ai cherché comment ces *mêmes* radiations se comportaient par rapport à un certain nombre de liquides. Mes essais se rapportent à l'absorption exercée par des couches liquides de 20 centimètres d'épaisseur.

Le liquide exposé au rayonnement était contenu dans une caisse cubique de 60 centimètres de côté, dont la face supérieure restait

---

(1) Séance du 5 janvier 1900.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 4 juillet 1898; — *Journal de Physique*, janvier 1899.

ouverte ; les parois du fond et de trois des faces latérales étaient en verre épais encadré dans une carcasse de zinc (peinte à l'extérieur et à l'intérieur); la quatrième face latérale consistait en une épaisse plaque de zinc M, offrant en son centre une ouverture carrée à rebords de 20 centimètres de côté, par laquelle on pénétrait dans une boîte en bois B, qui contenait le récepteur. Par le liquide versé dans la cuve (185 litres), la boîte centrale en bois B était entourée d'une couche de 20 centimètres d'épaisseur, sauf sur la face d'entrée, qui était hermétiquement close par un couvercle métallique C, assujetti par huit écrous *e*[1] (*fig.* 1).

Le producteur d'ondes était une bobine d'induction, dont les étincelles éclataient entre les deux boules d'un excitateur. Les difficultés matérielles m'ayant obligé à opérer dans un laboratoire restreint, j'ai dû faire usage de deux radiateurs : l'un faible, A, pour la comparaison de la transparence de l'air, de l'huile et de l'eau ; l'autre, B, beaucoup plus actif pour la comparaison de la transparence de l'eau et des solutions salines.

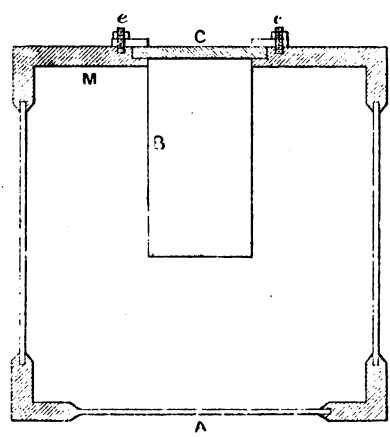


Fig. 1.

A : bobine d'induction de 2 centimètres d'étincelle; excitateur à intervalle d'air, boules de l'excitateur distantes de $1^{mm},2$.

B : bobine d'induction de 20 centimètres d'étincelle; l'excitateur est l'excitateur de Righi à intervalle d'huile; c'est l'excitateur qui a

(1) Cette cuve a été construite par M. Pellin.

servi dans les expériences faites avec les métaux, et il a été employé dans les mêmes conditions.

Le radiateur était disposé en face de la paroi de verre A opposée à la face métallique M.

Le récepteur introduit dans le réduit central B était un radioconducteur intercalé dans le circuit d'un élément Leclanché et d'un relais ; le circuit secondaire du relais comprenait une sonnerie qui se faisait entendre, lorsque le rayonnement électrique déterminait l'accroissement de conductibilité du radioconducteur. Au bruit de la sonnerie, on ouvrait la porte métallique C, et, par un choc, on rétablissait la résistance du radioconducteur. On peut aussi opérer d'une façon plus simple, le radioconducteur V étant intercalé dans un circuit comprenant seulement un élément Leclanché P et une sonnerie S convenablement réglée (*fig.* 2).

Les expériences ont été faites avec un tube à limaille d'alliage d'or et de cuivre ; le même tube a servi pour tous les essais, qui ont duré environ trois mois ; sa sensibilité n'a pas varié sensiblement.

Les nombres que je vais citer désignent en mètres les distances limites auxquelles le radiateur cessait d'agir sur le tube à limaille dans les diverses expériences, les distances étant comptées du radiateur à la paroi A.

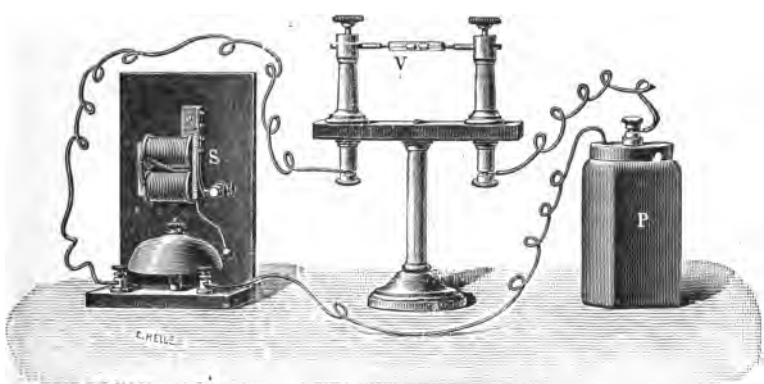


Fig. 2 (1).

Aux distances limites une seule étincelle ne suffisait pas pour faire fonctionner la sonnerie, il en fallait quelquefois de 10 à 15, et, à une

(1) Nous devons la *fig.* 2 à l'obligeance de M. Poussielgue, éditeur du *Traité élémentaire de Physique* de M. Branly (2e édition, 1900).

distance un peu supérieure, tout effet cessait. En général, l'erreur probable n'atteignait pas 10 centimètres dans chaque groupe d'essais.

RADIATEUR A.

Air (cuve vide).....	$10^m,30$
Eau de la Vanne.....	2 ,20
Air.....	9 ,50
Huile minérale (valvoline).....	10 ,50
Air.....	9 ,50
Eau distillée.....	3 ,00
Eau de la Vanne.....	2 ,60

On voit, d'après ces nombres, que l'eau distillée et l'eau de source exercent une absorption bien supérieure à celle de l'air et de l'huile.

Dans les expériences qui suivent, où la comparaison est faite entre l'eau ordinaire et diverses solutions salines, acides, alcalines, le radiateur B a été seul employé.

RADIATEUR B.

Eau de la Vanne.....	$9^m,20$

La même eau, soit colorée avec de la teinture de tournesol bleue ou rouge, soit amidonnée à froid (1 kilogramme d'amidon délayé dans l'eau), soit amidonnée à chaud (empois d'amidon avec 2 kilogrammes d'amidon) a fourni sensiblement la même distance limite 9 mètres à $9^m,50$.

Solutions de sel marin.

Eau de la Vanne.....	$9^m,50$
Eau salée (contenant 1 kilogramme de sel marin dans 185 litres).....	0 ,30
Eau salée (2 kilogrammes de sel marin).	0

Le nombre 0 indique que le radiateur appliqué contre la paroi de verre A de la cuve ne produisait aucun effet.

L'eau de mer contiendrait, pour la capacité de la cuve, un poids de sel marin voisin de 5 kilogrammes; il résulte des nombres ci-dessus, relatifs à 1 kilogramme et 2 kilogrammes, qu'elle produirait une absorption complète sous une épaisseur notablement inférieure à 20 centimètres.

L'eau de mer doit donc arrêter les radiations hertziennes, au moins celles que j'ai employées ici, sous une faible épaisseur.

Mes premiers essais ayant été réalisés avec l'idée préconçue qu'il fallait de très fortes épaisseurs de solutions salines pour absorber les radiations électriques, j'avais tout d'abord opéré avec une solution très concentrée.

L'absorption était alors complète, et c'est en réduisant la quantité de sel à $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, etc., de la quantité primitive que j'étais arrivé à reconnaître que la masse de sel nécessaire était très faible.

Eau de la Vanne.....	10 mètres
Solution de sel marin (45 kilogrammes de sel marin).....	0 —
Solution $\frac{1}{2}$ (1).....	0 —
Solution $\frac{1}{4}$.....	0 —
Solution $\frac{1}{8}$.....	0 —
Solution $\frac{1}{16}$.....	0 —
Solution $\frac{1}{32}$.....	0 —
Solution $\frac{1}{64}$.....	$0^m,50$

Solutions de sulfate de zinc.

Eau de la Vanne.....	$9^m,40$
Solution de sulfate de zinc (55 kilos).	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	0
Solution $\frac{1}{4}$.....	0
Solution $\frac{1}{8}$.....	0
Solution $\frac{1}{16}$.....	$0^m,60$

Solutions d'acide sulfurique.

Eau de la Vanne.....	$8^m,80$
Eau acidulée (500 grammes d'acide sulfurique pur à 66°).....	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	1 ,75

(1) Solution obtenue en vidant la moitié du liquide de la cuve, en achevant de remplir avec de l'eau et en brassant la masse.

Eau de la Vanne.....	$9^m,50$
Eau acidulée (1 kilogramme d'acide sulfurique pur à 66°).....	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	0
Solution $\frac{1}{4}$.....	2

Solutions d'acide chlorhydrique.

Eau de la Vanne.....	$9^m,80$
Eau acidulée (1 kilogramme d'acide chlorhydrique pur à 22°).....	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	0 ,50
Eau de la Vanne.....	10
Eau acidulée (3 kilogrammes d'acide chlorhydrique pur à 22°).....	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	0
Solution $\frac{1}{4}$.....	0
Solution $\frac{1}{8}$.....	$1^m,50$

Solution d'acide bromhydrique.

Eau de la Vanne.....	9^m
Eau acidulée (1 kilogramme d'acide bromhydrique pur à 40°).....	$0^m,05$

Solution d'acide nitrique.

Eau de la Vanne.....	10^m
Eau acidulée (1 kilogramme d'acide nitrique pur à 36°).....	0 ,15

Solutions de soude.

Eau de la Vanne.....	$8^m,80$
Solution de soude (500 grammes de soude caustique à l'alcool).....	0
Solution $\frac{1}{2}$.....	$1^m,60$

Il résulte de ces expériences que les solutions salines, acides et

alcalines, exercent une très forte absorption. Il en est peut-être de même de tous les électrolytes.

J'avais eu soin de m'assurer que la fermeture de la porte métallique était hermétique, en plaçant le radiateur B en face de la porte C et à une très faible distance. Toutefois, pour cette position du radiateur, j'ai dû garnir les bords de la porte de feuilles de plomb qu'on écrasait par la pression des écrous, ce qui montre une fois de plus la facilité avec laquelle les radiations hertziennes traversent les fentes les plus fines.

Sur l'épaisseur des couches de passage;

Par M. G. Vincent[1].

On admet d'ordinaire qu'un corps solide ou liquide ne doit pas être considéré comme homogène jusqu'au voisinage immédiat de la surface qui le termine. En d'autres termes, on envisage un pareil corps comme terminé par une couche superficielle — appelée *couche de passage*, — derrière laquelle la constitution du corps devient constante.

Mais le mot « constitution » est vague; comment peut-on définir expérimentalement la couche de passage d'une façon nette? On cherchera comment varient certaines des propriétés du corps avec la profondeur; par exemple, si ce corps conduit l'électricité, on déterminera à partir de quelle distance de la surface sa conductibilité spécifique devient constante. Chaque propriété choisie fournira ainsi une épaisseur de passage, et si, pour un même corps donné, ces différentes épaisseurs sont identiques, on aura bien défini une véritable couche de passage. Quoique très peu de corps et un très petit nombre de propriétés aient été jusqu'ici l'objet d'une pareille étude, il est possible, comme on le verra plus loin, de définir les couches de passage d'une manière unique, de conclure à leur existence objective[2], de mesurer leur épaisseur et de caractériser quelques-unes de leurs propriétés.

---

(1) Séance du 19 janvier 1900.

(2) Je n'attache ici à ce mot aucun sens philosophique; je l'emploie dans

Dans toutes les méthodes employées, les corps choisis, liquides ou solides, ont été étudiés en couches minces afin de rendre prépondérante l'influence des couches superficielles.

Je me propose, dans ce qui va suivre, de résumer mes propres recherches sur cette question ; mais, auparavant, je vais rappeler brièvement, en manière d'historique, les travaux de Reinold et Rücker sur les bulles de savon et ceux de Quincke sur les couches minces solides. J'aurai à me servir de leurs résultats et à les interpréter.

APERÇU HISTORIQUE

Expériences de Reinold et Rücker. — Quand on abandonne une bulle de savon, maintenue par un support, à l'intérieur d'une enceinte close saturée d'humidité afin que la bulle ne s'amincisse pas par évaporation mais seulement par écoulement lent du liquide, on voit, au bout de quelque temps, se former à sa partie supérieure une plage noire dont l'épaisseur est très faible et dont l'apparence s'explique comme celle de la tache centrale des anneaux de Newton en lumière réfléchie. Cette plage noire, très stable, peut persister plusieurs heures; sa tension superficielle est donc égale à celle du reste de la lame (1).

Reinold et Rücker ont remarqué que cette plage est séparée des parties colorées contiguës par un bord très net, et un examen minutieux leur a montré qu'entre le noir et la première couleur visible qui le borde immédiatement, plusieurs couleurs indiquées dans le tableau des interférences de Newton (en particulier, toutes les nuances de gris) font absolument défaut ; on peut d'ailleurs les faire apparaître en faisant passer dans la bulle un courant électrique d'une intensité suffisante ; elles disparaissent ensuite quand on interrompt le courant. On doit donc conclure en cet endroit à une discontinuité d'épaisseur (2).

Reinold et Rücker montrent que l'ensemble de ces phénomènes est dû à ce que la tension superficielle, pour les épaisseurs qui

(1) Newton avait déjà signalé ce phénomène et avait même constaté dans certains cas (quand l'eau de savon a une certaine composition) une deuxième plage à l'intérieur de la première, plus noire et, par conséquent, plus mince qu'elle.

(2) Pour plus de détails et pour tous renseignements bibliographiques, voir un article que j'ai publié dans *la Revue générale des Sciences*, numéro du 15 juin 1899.

manquent, est moindre que pour la plage noire et pour les parties colorées plus épaisses. Ainsi, la tension superficielle, constante pour toutes les épaisseurs supérieures à une certaine limite, commence à varier quand l'épaisseur de la bulle tombe au-dessous de cette valeur critique qu'ils ont trouvée comprise entre 45 μμ et 96 μμ (millionièmes de millimètre).

Que représente cette valeur critique? Reinold et Rücker pensent qu'elle est en relation avec la grandeur du rayon d'activité moléculaire, relation qu'ils n'ont pas d'ailleurs fixée au juste. Nous pouvons admettre qu'elle représente la somme des épaisseurs des couches de passage qui limitent la bulle à l'intérieur et à l'extérieur.

Expériences de Quincke. — Quincke, se proposant de déterminer la grandeur du rayon d'activité moléculaire de quelques substances solides, employa le procédé suivant : Sur une plaque de verre bien propre, on dépose une couche mince du corps à étudier, couche en forme de coin dont l'épaisseur au tranchant est nulle et croît à partir de là uniformément. On plonge ensuite la lame verticalement dans un liquide non susceptible de la mouiller (j'entends un liquide tel que l'angle de raccordement soit différent de zéro) ; l'angle de raccordement et, par suite, la hauteur soulevée ou déprimée, varient d'un point à l'autre de la paroi tant que l'épaisseur de la couche cunéiforme est moindre qu'une certaine limite, après quoi elle devient constante.

Opérant sur l'argent avec l'eau comme liquide, puis sur l'iodure et le sulfure d'argent avec le mercure, Quincke a trouvé que cette épaisseur limite est voisine, pour les trois corps étudiés, de 50 μμ. Il interprète son expérience ainsi : la hauteur soulevée varie tant que l'action du verre sur le liquide se fait sentir au travers de la couche mince, mais devient constante quand l'épaisseur de celle-ci devient égale au rayon d'activité moléculaire. Cette interprétation n'est pas nécessaire, et l'on pourrait en imaginer bien d'autres, en particulier celle-ci que l'épaisseur 50 μμ représente la somme des épaisseurs de passage. Nous verrons plus loin que cette dernière hypothèse est en effet la meilleure et qu'en tout cas celle de Quincke doit être rejetée, car elle suppose implicitement que les couches minces précédentes sont homogènes dans toute leur épaisseur, ce que contredisent mes propres expériences que je vais maintenant rapporter.

Les expériences de Reinold et Rucker s'expliquent simplement dans l'hypothèse des couches de passage et peuvent être considérées comme apportant une preuve de l'existence de ces couches, en ce qui concerne le liquide glycérique et quelques autres liquides semblables. Quant à l'épaisseur de ces couches, les deux physiciens anglais en donnent seulement deux limites supérieure et inférieure assez éloignées l'une de l'autre; il semble difficile d'aller plus loin dans la voie qu'ils ont choisie.

Pour les solides, nous ne possédons que les expériences de Quincke, dont l'interprétation ne peut pas être fixée sans expériences nouvelles.

J'ai repris cette question par un procédé différent, applicable seulement aux lames métalliques : il consiste à déterminer comment varie, en fonction de l'épaisseur, la conductibilité électrique de pareilles lames. Cette étude, faite pour des lames minces d'argent, dans des limites d'épaisseur suffisamment étendues, m'a permis de mettre en évidence de façon nette l'existence des couches de passage, de mesurer leur épaisseur et d'indiquer quelques-unes de leurs propriétés. Un résumé de ce travail a paru dans un article déjà cité de *la Revue générale des Sciences*, et l'ensemble des recherches est exposé au long dans un Mémoire que publieront prochainement les *Annales de Chimie et de Physique*.

Parmi les métaux qu'on peut préparer en couches minces, je n'ai étudié que l'argent parce que c'est le seul métal qui fournisse des résultats suffisamment certains et précis, surtout en ce qui concerne les mesures d'épaisseurs. On verra, en comparant les résultats que j'ai obtenus avec ceux de Reinold et Rucker et de Quincke convenablement interprétés, qu'on est conduit à considérer ces résultats comme généraux.

Préparation des couches. — Les couches d'argent étudiées étaient déposées par voie chimique sur des plaques de verre. Ces plaques, de 3 millimètres d'épaisseur environ et d'à peu près 9 centimètres de longueur sur 3 centimètres de largeur, étaient découpées dans des plaques plus grandes de bonne glace ordinaire.

Les dépôts doivent être faits avec de minutieuses précautions si l'on veut obtenir des résultats comparables entre eux. On commence par soumettre les plaques employées à des lavages méthodiques

deux lavages à l'eau distillée, un lavage dans un bain de soude, puis dans un bain d'acide azotique pur (on laisse séjourner les plaques plusieurs jours dans chaque bain); puis, nouveaux lavages à l'eau distillée; après quoi, sans sécher les plaques, on procède à l'argenture.

Chaque plaque à argenter est fixée par deux boulettes de cire contre une plaque de verre plus grande et plongée dans le bain argentifère contenu dans une cuve légèrement inclinée, qu'on dispose de manière que la face à argenter soit tournée vers le bas.

Pour la composition du bain argentifère, j'ai employé, en le modifiant un peu, un procédé indiqué autrefois par Martin[1]. Ce bain est plus ou moins étendu d'eau, suivant l'épaisseur d'argent à obtenir.

Quand l'argenture est terminée, la plaque est retirée du bain, lavée et séchée. Puis on fait, aux extrémités, des dépôts supplémentaires très épais qu'on lave et sèche de même; ils servent à donner là, à l'argenture, la solidité nécessaire pour qu'on y puisse appliquer plus tard les électrodes qui amèneront le courant, lorsqu'on fera l'étude de la conductibilité électrique.

Le procédé d'argenture dont je viens de parler permet d'obtenir toutes les épaisseurs comprises entre 0 $\mu\mu$ et 170 $\mu\mu$, limite qu'on ne peut guère dépasser et qui est d'ailleurs très suffisante. Les bornes de cet article ne me permettent pas de détailler ici, comme il le faudrait, la technique que j'ai suivie pour la préparation des couches; il me suffira de dire que j'ai pu obtenir des dépôts dont le poli et l'homogénéité ne laissaient rien à désirer.

Mesure des résistances. — Voici le procédé employé pour amener le courant dans une couche à étudier. Chacune des extrémités de la plaque qui la porte est serrée à l'aide d'une pince à vis de serrage entre deux petites plaques de cuivre bien planes, entourées de plusieurs épaisseurs d'un papier d'argent solide et souple qui assure un bon contact. Deux grosses tiges de cuivre, soudées aux pinces de serrage, sont recourbées à leurs extrémités libres qui plongent dans deux godets pleins de mercure. Le tout constitue l'une des branches d'un pont de Wheatstone. Un manchon de verre fermé par deux bouchons que traversent les tiges entoure la lame argentée et les pinces, de manière à protéger l'argenture contre les influences extérieures.

La quantité que je me suis proposé de mesurer, c'est, sur chaque

---

(1) *C. R.*, t. LVI, p. 1044.

couche d'argent, la *conductibilité superficielle* $\frac{1}{\rho}$; j'entends par là l'inverse de la résistance ρ évaluée en ohms d'un carré supposé découpé en une région quelconque de la couche et orienté de telle façon que les lignes de courant soient parallèles à l'un des côtés ; il est facile de voir que la conductibilité d'un tel carré est indépendante de sa grandeur, la conductibilité d'un rectangle dépendant uniquement du rapport des côtés. Afin d'éliminer *rigoureusement* toute résistance parasite (fils de communication, électrodes, etc.) et toute correction, j'ai employé la méthode différentielle suivante :

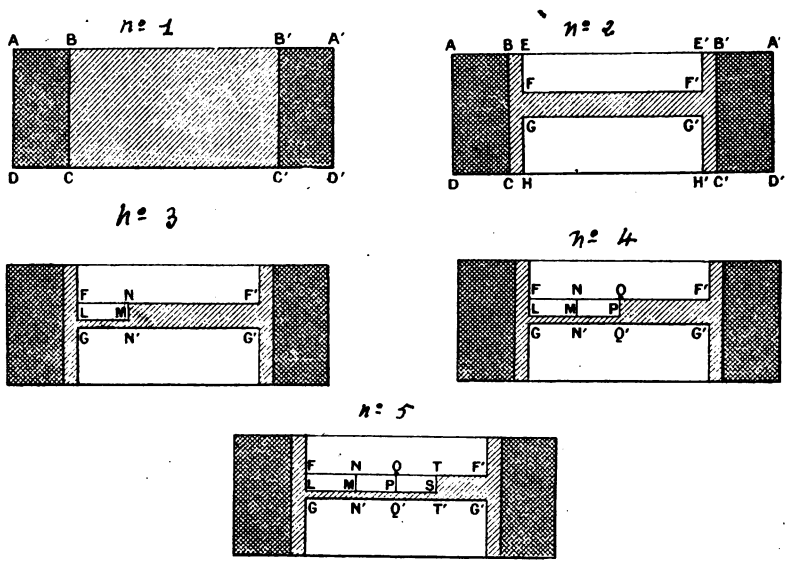


Fig. 1.

Soit (*fig.* 1, n° 1) une plaque argentée. ABCD, A'B'C'D' sont les dépôts épais des extrémités. A l'aide d'une pointe fine, on trace les lignes parallèles FF', GG' (*fig.* 1, n° 2) qui limitent une bande que l'on isole des parties adjacentes par les traits perpendiculaires EF, GH, E'F', G'H'. On trace ensuite trois traits : LM, FL, MN parallèles, le premier aux grands côtés de la bande, les deux autres aux petits côtés (*fig.* 6, n° 3). On met alors la lame en circuit ; si l'on fait passer le courant, celui-ci ne traversera que les régions qui, dans la figure n° 3, sont couvertes de hachures. On mesure la résistance R_1 de la lame ainsi découpée.

On retire la lame du circuit et, par deux autres traits, l'un MP qui prolonge LM, l'autre PQ perpendiculaire (*fig.* 6, n° 4), on retire de la bande le rectangle MNPQ. On remet la lame en circuit : soit R_2, la nouvelle valeur de la résistance.

Appelons N', Q', les points où MN et PQ prolongés couperaient GG', et soient : l, la longueur NQ = MP ; a, la largeur NN' de la bande primitive, et α la largeur MN' de la bande restreinte. On a, *rigoureusement*,

$$R_2 - R_1 = \rho \frac{l}{\alpha} - \rho \frac{l}{a} = \rho l \frac{a - \alpha}{a\alpha};$$

d'où :

$$\rho = \frac{R_2 - R_1}{l} \cdot \frac{a\alpha}{a - \alpha}.$$

Il suffit de mesurer l, a et α.

La valeur de ρ ainsi déterminée est relative à une région peu étendue de la couche : le rectangle NQQ'N'. C'est la seule qui doive être d'épaisseur uniforme, condition toujours réalisée pour une étendue aussi faible.

Comme contrôle, on peut faire une seconde détermination de ρ en faisant le découpage indiqué par le numéro 5 de la *fig.* 1 et en déterminant la nouvelle valeur R_3 de la résistance. Soit l' la longueur PS, on a :

$$\rho = \frac{R_3 - R_2}{l'} \cdot \frac{a\alpha}{a - \alpha}.$$

Cette deuxième valeur de ρ doit être identique à la première. J'ai toujours obtenu, pour chaque lame, deux valeurs de ρ très concordantes dont la moyenne peut être considérée comme exacte à $\frac{1}{50}$ près, au moins.

Le découpage des bandes et des rectangles est une opération délicate que j'ai réussi à faire avec beaucoup de précision.

Les longueurs l, l', a, α, étaient mesurées à la machine à diviser.

J'ajoute une remarque : Toutes les couches ont été soumises aux expériences huit jours exactement après leur préparation. Une couche récemment préparée, comme l'avaient déjà signalé MM. Quincke et Meslin, subit une transformation moléculaire qui, au bout de huit jours, est terminée ou assez ralentie pour que les mesures donnent des résultats comparables.

Mesure des épaisseurs. — L'épaisseur d'une couche mince peut

être déterminée soit par une pesée, soit par l'emploi d'une méthode optique. Le premier procédé ne pouvait convenir dans le cas de mes expériences ; j'ai donc eu recours uniquement aux méthodes optiques.

Il y en a de diverses sortes. Toutes sont fondées sur un phénomène d'interférence par réflexion ou transmission. Je me suis arrêté à des méthodes utilisant l'interférence de rayons réfléchis. Ces méthodes supposent que l'on connaisse le changement de phase des vibrations lumineuses par réflexion ou transmission. Or cela n'a lieu que dans le cas des corps transparents, et encore si l'on ne s'écarte pas trop de l'incidence normale. Aucune de ces méthodes ne s'applique donc directement aux lames métalliques, et le problème, dans ce cas, est jusqu'ici resté sans solution satisfaisante, sauf en ce qui concerne l'argent, pour lequel on a réussi à tourner la difficulté.

La première idée de cet artifice est due à Fizeau; elle consiste à transformer l'argent en iodure d'argent, corps transparent; c'est l'épaisseur de l'iodure que l'on mesure, et l'on en déduit celle de l'argent par une formule connue.

Je me suis servi de deux méthodes pour mesurer l'épaisseur de l'iodure. La première, dont le principe est dû à Fizeau et que M. Meslin a rendue pratique et précise, consiste à apprécier la coloration de la lame d'iodure et à déduire l'épaisseur en cherchant dans le tableau des interférences à centre noir de Newton l'épaisseur d'air de même coloration ; il suffit, pour faire le calcul, de connaître l'indice moyen de l'iodure. Cette méthode, très sensible pour les couches très minces, ne convient plus lorsque l'épaisseur des lames d'argent d'où l'on part dépasse 70 $\mu\mu$, car la dispersion de l'iodure intervient alors d'une manière notable et fausse les résultats; de plus, les colorations plus ternes deviennent plus difficiles à apprécier.

La seconde méthode que j'ai employée est une modification de celle qu'a indiquée Wiener. La méthode de Wiener est bien connue; on sait qu'elle consiste à obtenir l'épaisseur de la lame d'iodure par la différence des épaisseurs de deux lames minces d'air. Ici, l'indice de l'iodure n'intervient pas, sinon dans un terme de correction. Cette méthode, applicable à toutes les épaisseurs, sert de contrôle à la précédente, dans les limites où celle-ci peut s'appliquer.

J'ai dû modifier assez profondément le dispositif de Wiener; mais, sur ce point, je ne puis résumer : je me borne à renvoyer au mémoire étendu que j'ai annoncé plus haut.

Résultats. — Les épaisseurs des couches d'argent étudiées ont

varié depuis 0 μμ jusqu'à 170 μμ. J'ai fait deux séries de mesures, l'une en été, l'autre en hiver ; elles concordent bien, en tenant compte des différences de température[1]. Pour abréger, j'indique seulement les résultats de la seconde, qui comprend un plus grand nombre de couches.

La loi de variation de la conductibilité superficielle avec l'épaisseur est très simple et s'aperçoit immédiatement sur la courbe représentative (*fig.* 2) obtenue en portant en abscisses les valeurs de l'épaisseur ε (exprimées en μμ), et en ordonnées les valeurs de la conductibilité $\frac{1}{\rho}$ (les quantités ρ étant exprimées en ohms).

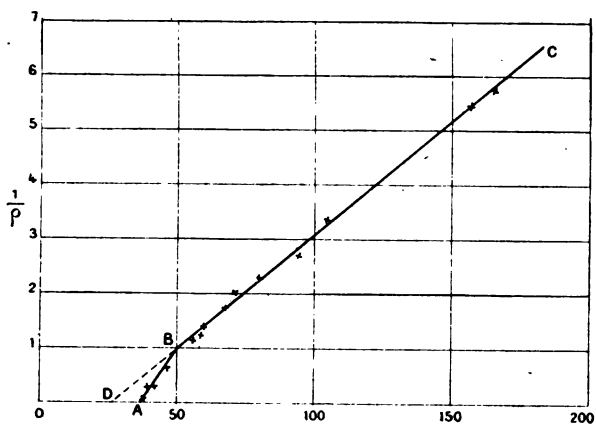


FIG. 2.

Si la *conductibilité spécifique* était la même à toutes les épaisseurs et dans toute la profondeur de chaque couche, la courbe représentative obtenue en prenant pour coordonnées ε et $\frac{1}{\rho}$ serait une droite *passant par l'origine*. On devrait avoir en effet :

$$\frac{1}{\rho\varepsilon} = C = C^{te}; \quad \text{d'où :} \quad \frac{1}{\rho} = C\varepsilon.$$

Or ici les points figuratifs ne se placent sur une droite que pour les épaisseurs supérieures à 50 μμ (droite BC), et le prolongement

(1) Le coefficient de variation avec la température que j'ai déterminé directement est le même pour toutes les épaisseurs. Il est voisin de 0,0014 et non égal au coefficient de dilatation des gaz qu'on obtiendrait si les couches, au lieu d'adhérer à des plaques de verre, pouvaient se dilater librement.

de cette droite passe *bien au-dessous de l'origine*. En outre, pour les épaisseurs moindres que 50 μμ, la courbe s'abaisse nettement au-dessous de la droite précédente; cette deuxième portion BA de la courbe rejoint l'axe des abscisses au voisinage du point $\varepsilon = 36$ μμ; au-dessous de cette épaisseur, les couches ne sont généralement plus conductrices; mais ce dernier point a peu d'importance.

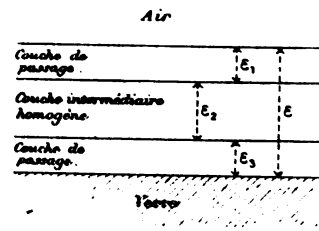


FIG. 3.

L'ensemble de ces résultats s'interprète facilement dans l'hypothèse des couches de passage. Représentons, en effet (*fig.* 3), une couche d'argent avec ses deux couches de passage. Désignons par ε et C, ε_1 et C_1, ε_3 et C_3, l'épaisseur en μμ et la conductibilité superficielle respectivement : de la couche tout entière, de la première couche de passage (au contact de l'air) et de la deuxième (au contact du verre). Soient en outre : ε_2 l'épaisseur de la couche intermédiaire homogène, et c, la conductibilité d'un parallélipipède ayant une base carrée et 1 μμ d'épaisseur, découpé dans cette couche (les lignes de courant étant parallèles à l'une des arêtes de base). On a évidemment :

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$C = C_1 + C_3 + c\varepsilon_2 = C_1 + C_3 + c(\varepsilon - \varepsilon_1 - \varepsilon_3),$$

ou bien :

$$C = -A + c\varepsilon,$$

en posant :

$$A = c(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) - (C_1 + C_3).$$

C n'est autre que la quantité désignée jusqu'ici par $\frac{1}{\rho}$; on peut donc écrire :

$$\frac{1}{\rho} = -A + c\varepsilon.$$

Tant que ε_2 n'est pas nul, les quantités c, ε_1, ε_3, C_1, C_3 sont cons-

tantes; A l'est donc aussi, et l'équation (1), où l'on prend $\frac{1}{\rho}$ et ε comme coordonnées, représente une droite. Le prolongement de cette droite passe au-dessous de l'origine si A est $>$ o, c'est-à-dire si la conductibilité des couches de passage est moindre que si, sans changer d'épaisseur, elles étaient constituées comme la couche intermédiaire homogène.

Quand ε devient égal, puis inférieur à la valeur jusque-là constante de $\varepsilon_1 + \varepsilon_3$, la couche intermédiaire homogène n'existe plus, et l'équation (1) n'a plus de sens; en se reportant à la *fig.* 2, on voit que les points figuratifs doivent alors se séparer de la droite. L'épaisseur pour laquelle la discontinuité se produit est la somme $\varepsilon_1 + \varepsilon_3$ des épaisseurs de passage; dans nos expériences, elle est d'environ 50 μμ. Nous pouvons donc dire en résumé :

1° *Toute couche d'argent dont l'épaisseur dépasse* 50 μμ *est composée d'une couche homogène de conductibilité spécifique constante, comprise entre deux couches de conductibilité moindre mais fixe, dont l'épaisseur est invariable;*

2° *La somme des épaisseurs de ces deux couches de passage est d'environ* 50 μμ.

Je donne ci-dessous (tableau II) le tableau des nombres qui ont servi à construire la courbe (*fig.* 2); la première colonne contient les épaisseurs des couches étudiées; la deuxième, les valeurs mesurées de $\frac{1}{\rho}$; dans la troisième, on a écrit les valeurs qu'aurait $\frac{1}{\rho}$ si tous les points de la courbe se trouvaient sur la droite BC ou sur son prolongement; l'équation de cette droite, déduite de l'ensemble des mesures faites au-dessous de 50 μμ, est :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon - 25,75}{24,21}. \tag{2}$$

On voit qu'au-dessus de 50 μμ l'écart entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées de $\frac{1}{\rho}$ sont de l'ordre de $\frac{1}{20}$ (souvent moindres); c'est l'ordre des erreurs d'expériences. Au-dessous de 50 μμ, les écarts sont très considérables; les points figuratifs se séparent bien de la droite BC.

Je donne en même temps, dans le tableau I, les nombres relatifs à la première série de mesures faite à une température moyenne un peu plus élevée que l'autre, et dont je n'ai pas parlé dans la dis-

cussion qui précède. Elle confirme, d'ailleurs, entièrement les résultats donnés par l'autre série.

TABLEAU I.

1re *série. — Température : 25° environ.*

t	$\frac{1}{\rho}$ mesuré	$\frac{1}{\rho}$ calculé
42 μμ	0,352	0,552
52	1,042	0,96
60	1,36	1,29
61	1,32	1,33
70	1,60	1,70
75	1,92	1,90
94	2,58	2,68
106	3,17	3,17
134	4,37	4,32

TABLEAU II.

2e *série. — Température : 15° environ.*

t	$\frac{1}{\rho}$ mesuré	$\frac{1}{\rho}$ calculé
38 μμ	0,141	0,510
40	0,303	0,590
41	0,355	0,630
46	0,662	0,84
55	1,14	1,21
55	1,16	1,21
58	1,28	1,33
59	1,39	1,37
68	1,77	1,75
72	2,05	1,91
80	2,32	2,24
94	2,69	2,82
106	3,46	3,31
159	5,52	5,50
167	5,75	5,83

Remarque. — La comparaison des équations (2) et (1) fournit non seulement la somme des épaisseurs des couches de passage, mais encore : 1° la somme de leurs conductibilités superficielles : $C_1 + C_3 = 1$ environ, à 15°; 2° la conductibilité spécifique c de la couche intermédiaire homogène : $c = \frac{1}{24,2}$.

Si, après la discussion qui vient d'être faite, nous nous reportons aux expériences de Quincke, nous voyons que ce sont bien les couches de passage que ce physicien a mises en évidence. Ainsi, l'action exercée sur l'eau par ses couches d'argent devient constante dès que les deux couches de passage sont entièrement constituées, quelle que soit l'épaisseur de la couche intermédiaire homogène. Celle-ci n'intervient donc pas dans les phénomènes, et tout ce qui est derrière elle non plus; la couche de passage antérieure est seule active. On pourrait être tenté d'en conclure que son épaisseur est égale au rayon d'activité moléculaire; mais cette interprétation n'est pas nécessaire, comme il est aisé de s'en convaincre. Le rayon d'activité n'est certainement pas plus grand que l'épaisseur de la première couche de passage, mais il peut n'en être qu'une fraction,

la moitié par exemple; dans ce cas, la moitié de la première couche de passage aurait seule une action directe sur l'eau; mais cette action ne deviendrait constante évidemment que lorsque la constitution de cette demi-couche serait elle-même devenue constante, c'est-à-dire quand, les deux couches de passage étant entièrement constituées, la couche intermédiaire homogène commencerait d'apparaître.

Conclusion. — Si nous rapprochons les uns des autres les résultats obtenus pour l'épaisseur des couches de passage par les différents expérimentateurs, nous voyons que toutes les mesures précises donnent un nombre voisin de 50 $\mu\mu$ et que les limites fournies par les mesures approchées comprennent ce nombre. Cette concordance, obtenue en opérant sur des corps très divers, dans des conditions qui ne se ressemblent pas et par des méthodes qui n'ont rien de commun, est très importante. Elle permet d'abord d'attribuer une existence *objective* aux couches de passage définies par ces méthodes, et fait prévoir, en outre, que la somme des épaisseurs de passage est la même pour toutes les substances. Si cette conclusion est admise, il est naturel de penser que, sur une même lamelle, l'épaisseur de chaque couche de passage est la moitié de la somme des deux (seule atteinte directement par l'expérience) et vaut, par conséquent, 25 $\mu\mu$. Ce n'est là, d'ailleurs, qu'une hypothèse qui, vu le petit nombre d'expériences sur lesquelles on peut l'appuyer, réclamerait une confirmation établie sur des expériences plus nombreuses.

Ceci m'amène à dire un mot d'une objection qu'on peut faire à l'interprétation que j'ai donnée de mes expériences. Les couches de passage qu'elles mettent en évidence dans les couches d'argent, tiennent-elles vraiment à une propriété spécifique de la matière, et ne pourrait-on pas les expliquer soit par une impureté, soit par des trous ou fissures altérant d'une façon constante les surfaces de toutes les couches? J'ai examiné cette objection avec soin et institué plusieurs expériences qui permettent de la réfuter directement. Sans les rapporter ici, ce qui m'entraînerait à de trop longs développements, j'indiquerai seulement un argument indirect qu'on peut tirer des expériences de Quincke. Quand on transforme une couche d'argent en iodure (et c'est ainsi que Quincke préparait ses lamelles d'iodure), on obtient une épaisseur d'iodure 4 fois plus épaisse environ que celle d'argent. Les couches de passage de l'iodure devraient donc avoir une épaisseur très différente de celles de l'argent; or les

expériences de Quincke donnent la même. L'objection tombe donc, à moins qu'on ne fasse des hypothèses bizarres dont il serait facile, d'ailleurs, de démontrer l'inanité.

Une dernière remarque avant de terminer : Il est vraisemblable que la densité et l'indice de réfraction des couches de passage varient avec la profondeur avant d'atteindre les valeurs définitives qu'on mesure pour les corps pris en masse. Cependant, au degré de précision des mesures faites jusqu'ici, ces quantités apparaissent comme constantes. On peut dire, en tout cas, qu'elles varient très peu avec la profondeur ou que, s'il y a une épaisseur de variation plus rapide, elle n'intéresse qu'une très petite fraction de chaque couche de passage.

Les couches de passage qui terminent un corps apparaissent ainsi comme ayant une constitution très peu différente de celle de l'intérieur, et il n'y a qu'un petit nombre de propriétés dont la variation puisse être estimée avec une sensibilité suffisante pour qu'on réussisse à mettre ces couches en évidence. Cela est encore plus vrai pour les liquides que pour les solides, comme il ressort des travaux de Reinold et Rucker.

Contribution à l'étude du rayonnement du radium ;

Par M. Henri Becquerel [1].

La portion du rayonnement du radium déviable par un champ magnétique se prête à diverses expériences, parmi lesquelles je citerai les suivantes ; les premières sont relatives aux rayons qui traversent le papier noir.

1° *Déviation magnétique dans le vide.* — Dans le but de rechercher si l'air exerçait une influence importante sur la vitesse de propagation du rayonnement en question, j'ai disposé l'expérience de la déviation magnétique dans le vide. Je n'ai pas observé de différence notable avec ce que l'on obtient dans l'air.

L'expérience a été réalisée de la manière suivante : Un tube de verre, fermé à une extrémité et en relation par l'autre, au moyen d'un tube de plomb, avec une trompe à mercure, était disposé horizontalement entre les pôles d'un électro-aimant, et normalement au

[1] Séance du 16 février 1900.

champ. Dans ce tube, à côté d'un peu d'acide phosphorique pour dessécher l'air, était placée une petite plaque photographique, horizontale, enveloppée de papier noir; sur cette plaque était posée une petite cuve en plomb de $0^{mm},94$ d'épaisseur contenant la matière active rassemblée dans un trou de 1 millimètre environ de diamètre percé dans une carte, maintenue en dessous par du papier noir et en dessus par une très mince feuille d'aluminium. Dans ces conditions, la matière peut rester plusieurs heures sur la plaque sans la voiler et donne seulement une impression directement au-dessous de la source, à travers le plomb.

On fait alors plus ou moins complètement le vide dans le tube, puis on fait passer dans l'électro-aimant un courant qu'on maintient aussi constant que possible. Les rayons ramenés sur la plaque photographique par le champ magnétique impressionnent celle-ci d'un côté de la source. Au bout d'une dizaine de minutes de pose, on interrompt le courant; on laisse rentrer l'air, puis on fait passer dans l'électro-aimant un courant égal au premier, pendant le même temps, mais en sens inverse, de façon à rejeter l'impression de l'autre côté de la source; on peut ainsi comparer sur la même épreuve les effets obtenus dans le vide et dans l'air à la pression atmosphérique.

On a opéré avec des pressions de 7 millimètres, de 2 millimètres, de $0^{mm},1$ de mercure, et dans le vide presque absolu. Dans tous les cas, les deux impressions qui, dans un champ uniforme, figurent des arcs d'ellipse, ont paru presque identiques et à très peu près symétriques de part et d'autre de l'impression directe de la source. La présence de l'air n'exerce donc pas sur la déviation magnétique une influence appréciable par cette expérience. La figure ci-contre (*fig.* 1) est la reproduction de l'épreuve obtenue dans le vide presque absolu.

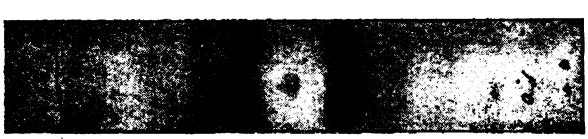


Fig. 1.

Pour un champ dont l'intensité était environ 4.060 unités C.G.S., la distance moyenne de l'impression au milieu de la source a été trouvée égale à $6^{mm},2$. La source étant à $2^{mm},2$ environ au-dessus

de la plaque, pour avoir la distance à la source de l'impression qui serait produite dans le plan même de la source, il faut faire une correction qui porterait le nombre trouvé ci-dessus dans l'air à $6^{mm},8$ pour un champ de 4.060; ce qui, pour un champ de 4.000 unités donnerait le nombre $6^{mm},9$.

2° *Identité du rayonnement émis par les sels radifères diversement actifs.* — Sur une même plaque photographique enveloppée de papier noir et placée horizontalement entre les pôles de l'électro-aimant, on a disposé côte à côte quelques grains de deux préparations différentes de sels de radium, en interposant entre ces deux sources un écran perpendiculaire à la plaque; on excite alors l'électro-aimant, et, après un temps de pose variable avec les échantillons, on observe sur les deux moitiés de la plaque des impressions, inégales comme intensité, mais égales comme déviation. L'expérience a été faite avec du carbonate radifère et deux chlorures d'activité différente, que m'ont obligeamment prêtés M. et Mme Curie. Ces expériences montrent que les divers sels de radium émettent des rayons également déviables, c'est-à-dire de même nature, et ne diffèrent que par leur intensité.

3° *Trajectoire du rayonnement dans un champ magnétique uniforme.* — Les rayons qui se propagent normalement à un champ magnétique uniforme décrivent une trajectoire fermée, qui les ramène au point d'émission. On peut constater ce fait par l'expérience suivante : On dispose, comme dans les expériences précédentes, une plaque photographique enveloppée de papier noir, horizontalement, dans le champ magnétique, mais la gélatine étant en dessous; très près du bord de la plaque, bord amené au milieu du champ, on place sur la face supérieure une lame de plomb, puis la substance active, formant une source de petit diamètre; on excite alors l'électro-aimant de manière que le rayonnement soit rejeté en dehors de la plaque, et l'on observe qu'il se produit sur tout le bord au-dessous de la source une impression due aux rayons qui y sont ramenés. Si l'on dispose, dans l'espace, sur le trajet des rayons, divers écrans, leur ombre se reproduit sous la plaque, montrant que les rayons normaux au champ sont ramenés sous la source elle-même, et que les rayons obliques sont ramenés sur l'axe du champ passant par la source.

Enfin, si, à côté de la plaque horizontale, on dispose une plaque verticale dont le plan se prolonge au-dessus et au-dessous de la première, on obtient une section de toutes les trajectoires des rayons

qui la rencontrent, et l'on reconnaît que ceux-ci sont ramenés sur l'axe qui passe par la source.

On rend compte de toutes les apparences en assimilant le rayonnement en question aux rayons cathodiques, et en considérant ce rayonnement comme soumis aux forces qui sollicitent des masses électriques négatives traversant le champ magnétique avec une grande vitesse. Dans ces conditions, les trajectoires des rayons normaux à un champ uniforme sont des cercles passant par la source, tangents à la direction originelle du rayonnement; ces cercles ont tous le même rayon R, dont la valeur est inversement proportionnelle à l'intensité du champ. Les rayons émis normalement à une plaque photographique parallèle au champ magnétique reviennent couper celle-ci normalement et produisent une impression d'intensité maximum. Les rayons émis tangentiellement à la plaque reviennent sur eux-mêmes tangentiellement à celle-ci et ne produisent aucune impression.

Pour une direction de propagation oblique, faisant avec l'axe du champ un angle α, la trajectoire est une hélice qui s'enroule sur un cylindre de rayon R sin α, ayant pour axe une parallèle à l'axe du champ, et tangent à l'élément de trajectoire au départ. L'hélice s'enroule dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, si la propagation a lieu dans le sens du champ, et en sens inverse si la propagation a lieu en sens contraire.

Ces résultats, connus pour les rayons cathodiques, s'appliquent aux rayons déviables du radium. Le lieu des impressions maxima sur la plaque photographique horizontale correspond au lieu des intersections avec ce plan des rayons dont les directions originelles sont dans un plan vertical parallèle au champ. Ce lieu est un arc d'ellipse dont l'un des demi-axes est 2R pour la direction perpendiculaire au champ, et dont l'autre serait πR pour la direction de l'axe; mais les rayons n'atteignent pas ce point. Toutes les trajectoires de ces rayons ont la même longueur πR.

Le lieu des intersections, avec un plan normal à l'axe du champ, des trajectoires des rayons obliques dont les éléments originels sont dans un plan passant par l'axe, est une courbe dont le point de départ est sur l'axe passant par la source et dont la tangente à l'origine fait, avec l'intersection des deux plans, un angle égal à $\frac{d}{2R}$, d étant la distance du plan à la source, et R le rayon de la trajectoire

circulaire définie ci-dessus (Voir *Séances de la Société de Physique*, année 1899, *fig* 4 de la page 192). Il résulte encore de cette théorie que le produit $H\rho$ de la composante du champ normal à la trajectoire en un point de celle-ci, par le rayon de courbure en ce point, est constant.

La vérification expérimentale des conséquences de cette théorie pourrait être considérée comme une démonstration de l'identité du rayonnement étudié et des rayons cathodiques; on verra plus loin que l'impression photographique maximum au travers du papier noir est principalement due à un faisceau de radiations dont le rayon de courbure moyen était de $3^{mm},5$ environ pour un champ de 4.000 unités C. G. S., et qui donne les figures prévues.

Pour les expériences ultérieures, on a éliminé l'absorption due au papier noir qui enveloppait les plaques photographiques dans la plupart des expériences antérieures; mais il faut alors éviter l'action de la lumière émise par la phosphorescence du sel de radium. La substance active était rassemblée dans un trou de 1 millimètre, percé dans une carte, et placée dans une petite cuve en plomb; cette cuve était posée sur la gélatine de la plaque photographique, horizontale, au milieu du champ magnétique. Dans ces conditions, la lumière de phosphorescence n'impressionnait pas la plaque, et les rayons déviables étaient seuls ramenés sur celle-ci par l'action du champ magnétique. On pouvait alors placer sur la plaque même divers écrans absorbants. Les opérations s'effectuaient dans une chambre noire, en s'éclairant avec de la lumière rouge.

Une autre modification importante a été de remplacer les armatures, qui ne donnaient un champ uniforme que sur un petit espace, par des parallélipipèdes de fer dont la section était de 10 centimètres de large sur 14 centimètres de hauteur, séparés entre eux par une distance de $3^{cm},3$. Le champ uniforme occupe une étendue suffisante pour comprendre toutes les trajectoires des rayons qui impressionnent la plaque. En faisant passer dans l'électro-aimant un courant de 4 ampères, on obtenait un champ magnétique dont l'intensité a été déduite de la mesure de la rotation du plan de polarisation de la lumière dans une direction oblique. On a trouvé ainsi 1.742 unités C. G. S.

L'étude qui précède conduit à penser que les rayons qui sont les plus efficaces pour impressionner la plaque photographique sont ceux dont les trajectoires coupent la plaque dans le voisinage de

leur point de contact avec leur enveloppe; en particulier, quand la source est sur la plaque elle-même, ce seraient les rayons qui sont ramenés à peu près normalement sur la plaque, ou plus généralement ceux dont la normale à la trajectoire est dans le plan de la plaque.

On peut vérifier qu'il en est sensiblement ainsi, en disposant sur la plaque divers objets dont on étudie les ombres. En particulier, si l'on dispose parallèlement à la plaque, à $0^{mm},3$ au-dessus et obliquement au champ, une petite barre de verre de $1^{mm},5$ de côté, on constate que l'ombre produite par les rayons déviés présente une pénombre due à la largeur de la source, et que la largeur et la netteté de l'ombre sont d'autant plus grandes que la longueur de la trajectoire a été plus grande.

La netteté n'est pas changée, si l'on couvre la source d'un demi-cylindre d'aluminium de $0^{mm},1$ d'épaisseur, parallèle au champ. Cette expérience montre bien la transparence de l'aluminium dans ces conditions et semble exclure l'hypothèse de radiations secondaires émises par l'aluminium, en quantité assez notable pour se substituer efficacement à celles de la source; elle confirme les observations que j'avais faites depuis longtemps.

4° *Dispersion dans le champ magnétique.* — Il résulte de la forme des trajectoires que, dans l'expérience décrite plus haut, si le rayonnement était homogène, les impressions devraient figurer des arcs d'ellipse intenses vers le bord extérieur et diffus vers le bord intérieur. Or, même avec une source radiante de très petit diamètre, les arcs d'ellipse sont très diffus vers l'extérieur, et la diffusion augmente lorsqu'en diminuant le champ magnétique on augmente la valeur de 2R. Cette diffusion paraît devoir être attribuée à une dispersion, par le champ magnétique, du faisceau des radiations dont mes expériences antérieures [1] avaient déjà signalé l'hétérogénéité.

Si l'on dispose sur la gélatine d'une plaque photographique placée parallèlement au champ, des écrans de diverses natures, tels que des bandes de papier, d'aluminium, de mica, de verre, de platine, de cuivre, de plomb, les impressions sous ces écrans s'arrêtent à des distances inégales de la source, limitées par des arcs elliptiques diffus, décalés les uns par rapport aux autres, tandis que, s'il n'y a

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 912.

pas d'écran, l'impression se fait jusque dans le voisinage immédiat de la cuve contenant le radium.

La figure ci-contre (*fig.* 2) montre l'effet obtenu avec des bandes de papier, d'aluminium et de platine.

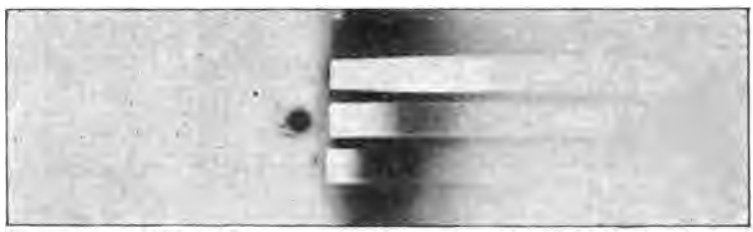


Fig. 2.

Ces impressions figurent des sortes de spectres d'absorption montrant que les rayons les plus déviés par le champ magnétique sont les plus facilement arrêtés dans ces conditions.

5° *Variation de l'absorption avec la position des écrans.* — Si, au lieu de placer l'écran sur la plaque photographique, on le place sur la petite cuve elle-même qui contient le radium ou très près de celle-ci, l'impression photographique s'étend jusque près de la source, et il semble que cet écran se laisse alors traverser par les radiations qu'il arrête, lorsqu'il est sur la plaque. Ce fait paraît général; je l'ai observé avec du papier noir et avec des lames d'aluminium, de cuivre et de plomb d'environ $0^{mm},1$ d'épaisseur. Les radiations ont leur intensité plus ou moins diminuée par ces écrans; mais, quand ceux-ci sont très près de la source, l'impression, plus ou moins affaiblie, s'étend jusqu'à la source elle-même, montrant qu'il arrive alors sur la plaque des radiations de toute nature, depuis celles qui sont très peu déviées jusqu'à celles qui viennent s'arrêter sur le bord même de la cuve contenant le radium.

Au lieu de placer les écrans sur la cuve elle-même, on peut couvrir celle-ci d'une petite gouttière cylindrique plus ou moins épaisse; les effets sont les mêmes, mais sous la gouttière on observe une impression très intense due à des rayons secondaires. L'aluminium, sous $0^{mm},02$ d'épaisseur, laisse passer les radiations de toute nature; le plomb, sous $0^{mm},5$, paraît transparent pour toutes les radiations lorsqu'il est placé sur la cuve, tandis qu'une gouttière cylindrique dont

les parois avaient une épaisseur de $0^{mm},33$, a tout arrêté. La transparence du plomb est cependant notable, lorsque celui-ci est en contact immédiat avec le radium; car, dans toutes les épreuves, la position de la source est marquée par une tache circulaire intense due aux rayons qui ont traversé le fond de la cuve, qui a environ $0^{mm},5$ d'épaisseur; il faut toutefois observer que, dans ce cas, la partie non déviable du rayonnement peut traverser également le fond de la cuve et ajouter son effet à celui de la partie déviable par le champ magnétique.

Deux lames d'aluminium, parallèles toutes deux à la plaque, l'une posée sur la gélatine, l'autre à 2 millimètres au-dessus, ont donné la même absorption qualitative. Si l'on dispose trois lames d'aluminium, d'égale épaisseur, l'une sur la plaque, l'autre inclinée à 45°, et la troisième verticale, on constate que la limite des radiations absorbées se rapproche progressivement de la source.

Une lame d'aluminium placée verticalement contre la cuve qui contient la matière radiante laisse passer les radiations les plus déviées, et les ombres des objets placés au-delà de cette plaque montrent que l'impression est produite principalement par des rayons émanés directement de la source. Les ombres sont cependant un peu plus diffuses, et il semble que les rayons secondaires soient également déviés par le champ et ramenés sur la plaque photographique.

Je n'ai encore aucune explication plausible de ces phénomènes. Cependant l'effet qu'on observe quand les écrans sont sur la plaque photographique paraît bien dû à une absorption élective de radiations sensiblement normales aux écrans, et il donne alors le spectre d'absorption de chaque écran, pour les radiations inégalement déviées dans le champ magnétique. J'ajouterai que les expériences faites dans le vide et exposées plus haut montrent que l'absorption au travers du papier noir est la même dans l'air et dans le vide.

6° *Spectre d'absorption de diverses substances.* — Le spectre d'émission du radium apparaît, dans ces expériences, comme étant continu. Pour caractériser chaque radiation, on peut donner le rayon de courbure de sa trajectoire, dans un champ uniforme déterminé, et comme, d'autre part, le produit $H\rho$ du rayon de courbure par l'intensité H de la composante du champ normale à la trajectoire est constant, je prendrai la valeur de ce produit pour caractériser chaque radiation.

Un écran placé sur la gélatine de la plaque limite l'impression à un arc elliptique un peu diffus, dont le petit axe donne le double du rayon de courbure minimum des trajectoires des radiations transmises. Dans un champ de 1.742 unités C. G. S., ce petit axe était de $7^{mm},5$ environ pour le papier noir, de $11^{mm},5$ pour une lame d'aluminium de $0^{mm},1$ d'épaisseur, de 13 millimètres pour une lamelle de verre, etc.

On trouvera dans le tableau suivant les valeurs du produit $H\rho$ pour les rayons qui limitent l'absorption de divers écrans. Ces nombres ne donnent que des valeurs grossièrement approchées de ces limites, en raison de la diffusion due à la largeur de la source, d'une part, et, d'autre part, en raison de la limite indécise du phénomène d'absorption. En recueillant seulement celles des radiations dispersées qui ont toutes passé par un trou étroit, on a un spectre pur, car en fixant deux points il n'y a qu'une trajectoire pour chaque espèce de rayons. Les limites d'absorption sont les mêmes que dans l'expérience qui vient d'être décrite. Les écrans sont transparents pour des radiations dont les valeurs de $H\rho$ sont supérieures aux nombres du tableau suivant :

Substances	Épaisseur mm.	Limite inférieure du produit $H\rho$ pour les rayons transmis C. G. S.
Papier	0,065	650
Aluminium	0,010	350
	0,100	1.000
	0,200	1.480
Mica	0,025	520
Verre	0,155	1.130
Platine	0,030	1.310
Cuivre	0,085	1.740
Plomb	0,130	2.610

Ces limites approchées, dont je me propose de donner plus tard des valeurs plus exactes, suffisent pour caractériser, d'une manière générale, l'absorption de diverses substances. Ainsi le papier ne laisse pas passer les radiations les plus déviables dont le rayon de courbure dans un champ de 1.000 unités serait inférieur à $6^{mm},5$ environ ; pour le verre, les rayons transmis auraient, dans le même champ, des rayons de courbure supérieurs à 11 millimètres.

Les nombres ci-dessus sont tout à fait du même ordre de grandeur que ceux qui ont été trouvés pour les rayons cathodiques. Les

radiations les plus déviables, c'est-à-dire celles qui ont le rayon de courbure ou le produit $H\rho$ le plus petit, sont les plus absorbées. Si on leur applique la même théorie que pour les rayons cathodiques, les rayons les plus absorbés seraient ceux pour lesquels le produit $\frac{m}{e} v = H\rho$ de la vitesse par le rapport de la masse matérielle à la charge électrique aurait la moindre valeur.

Ces phénomènes d'absorption inégale viennent confirmer les conclusions que j'avais déduites de l'étude de la phosphorescence excitée par le radium au travers de divers écrans (1).

7° *Considérations sur la déviation électrostatique.* — Les faits qui viennent d'être exposés montrent qu'une partie du rayonnement du radium est tout à fait assimilable à des rayons cathodiques ou à des masses d'électricité négative transportées avec une grande vitesse. M. et Mme Curie viennent de mettre en évidence l'existence de ces charges qui sont excessivement faibles.

On sait que, si v est la vitesse, H l'intensité du champ, et ρ le rayon de courbure de la trajectoire, on doit avoir $\frac{m}{e} v = H\rho$. Or nous avons trouvé, pour les produits $H\rho$ relatifs à diverses radiations des nombres identiques à ceux qui ont été trouvés pour les rayons cathodiques par M. J.-J. Thomson (2), par M. Wien (3) et par M. Lenard (4).

Ces masses en mouvement doivent subir, dans un champ électrique d'intensité F, une déviation $\theta = \frac{Fl}{\frac{m}{e} v^2}$, l étant la longueur du chemin parcouru dans le champ. On sait qu'on n'a pu obtenir jusqu'ici aucune déviation électrostatique pour les rayons du radium. Cependant il ne paraît pas douteux que ce phénomène ne se produise, mais les champs employés n'ont pas été assez intenses pour les mettre en évidence. On est réduit à faire sur ce point des hypothèses ; si l'on admet comme vraisemblable que la vitesse v soit, comme pour les rayons cathodiques, de l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière, par exemple, comme dans les expériences de

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 912 ; 4 décembre 1899.
(2) J.-J. Thomson, *Phil. Mag.*, 5e série, t. XLIV, p. 293 ; 1897.
(3) W. Wien, *Verhandl. der phys. Gesellsch. zu Berlin*, t. XVI, p. 165 ; 1897.
(4) Lenard, *Ann der Physik und Ch.*, t. LXIV, p. 279 ; 1898.

M. Lenard, le quart de cette vitesse, on voit que, pour observer sur un trajet de 1 centimètre une déviation θ de quelques degrés, soit $\theta = 0{,}20 = 11°{,}4$, au travers du papier noir le produit $H\rho$ étant environ 1.400 pour les rayons les plus efficaces, il faudrait réaliser au moins un champ électrique de 2.10^{12} unités ou une différence de potentiel de 20.000 volts entre deux plateaux distants de 1 centimètre; il faudrait donc, pour avoir une déviation électrostatique notable, employer des différences de potentiel égales ou supérieures à celles qui provoquent la décharge explosive entre les conducteurs dans l'air, ce qui pourrait être obtenu dans le vide et ne paraît pas avoir été fait jusqu'ici [1].

Sur un nouveau gazomètre à pressions constantes et variables à volonté;

Par M. J. Riban [2].

Le gazomètre ordinaire et portatif des laboratoires, dit de Mitscherlich, ne saurait donner un débit de gaz constant; car la hauteur de la colonne liquide qui comprime le gaz va sans cesse en diminuant, il en résulte nécessairement un décroissement continu du débit. En outre, la faible hauteur invariable de la cuvette au-dessus du réservoir de gaz donne une pression souvent insuffisante, lorsque l'on veut faire barboter les gaz à travers une série de flacons laveurs ou les recueillir sur la cuve à mercure. Le gazomètre de Deville remédie à ce dernier inconvénient, mais pas au premier qui est capital. Il n'existe guère, comme appareils à débit à peu près constant, que ceux à cloche et à contrepoids, mais on a toujours à redouter avec eux les frottements des poulies et des guides de la cloche souvent oxydés dans les laboratoires; en outre, ils ne sont pas portatifs.

Il est cependant bien nécessaire de pouvoir disposer, pour cer-

---

(1) Depuis la rédaction de cette Note, l'auteur a réalisé l'expérience de la *déviation* électrique du rayonnement du radium dans l'air et dans un champ électrique d'environ 10^{12} unités C. G. S. Pour certains rayons qui traversent le papier noir, l'auteur a trouvé $\frac{m}{e} = 10^7$ et $v = 1{,}6 \,.\, 10^{10}$.

(2) Séance du 2 mars 1900.

taines expériences, d'un gazomètre portatif dont la constance du débit assurée n'exige pas la présence permanente de l'opérateur et lui donne, en même temps qu'une pression toujours suffisante, la

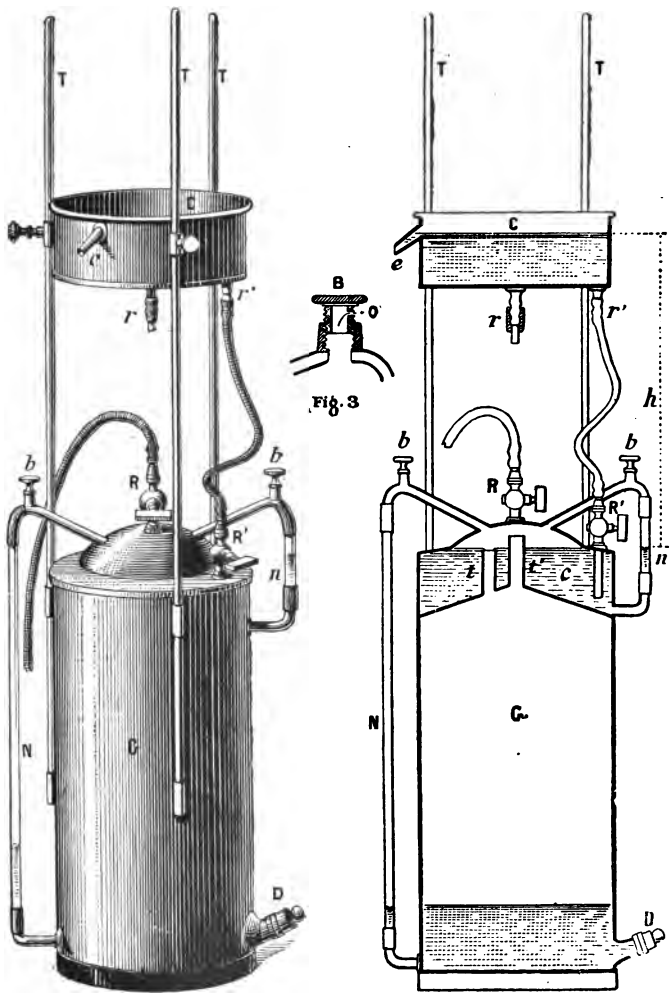


Fig. 1. Fig. 2.

faculté de continuer, au besoin, ses expériences durant la nuit. Le gazomètre que je viens de faire établir réalise ces conditions et quelques autres encore que l'on ne rencontre pas dans les modèles

en usage ; l'opérateur y dispose, point essentiel, de pressions hydrostatiques très constantes, susceptibles d'être graduées à sa volonté et même mesurables.

Ce nouveau gazomètre (*fig.* 1 en élévation et *fig.* 2 en coupe) rappelle sensiblement par son aspect extérieur les modèles usuels. Il en diffère essentiellement en ce que son réservoir de gaz est divisé en deux parties très inégales par une cloison conique, de manière à constituer une petite cuvette interne *c* (*fig.* 2) munie d'un tube de trop-plein *t*. Il diffère encore en ce que la cuvette supérieure externe C est mobile et peut glisser sur trois tringles verticales TTT et y être arrêtée à telle hauteur que l'on désire, au moyen de vis de pression. L'eau s'écoulera de la cuvette externe C (au moyen d'un tube en caoutchouc fixé sur le robinet R′) dans la cuvette interne *c*, et de là, par le tube de trop-plein *t*, dans le corps G du gazomètre, jusqu'à ce que la force élastique du gaz fasse équilibre à la pression exercée par une colonne d'eau de hauteur *h*. Cette pression se maintiendra désormais rigoureusement invariable si l'on fait arriver un courant d'eau dans la cuvette supérieure C munie elle-même d'un tube de trop-plein *e*. Sous cette pression hydrostatique constante, le gaz du corps du gazomètre passera par le tube *t′* aboutissant à 2 centimètres environ au-dessous du robinet R, qui sert au débit du gaz. Ainsi se trouve réalisée la constance des débits sous des pressions suffisantes et variables au gré de l'opérateur.

Le gazomètre porte deux tubes de niveau, l'un N indiquant le volume du gaz dont on dispose dans le corps du gazomètre, l'autre *n* plus court, en communication avec la cuvette interne et dans lequel l'eau s'arrête en un point fixe à l'instant précis où, l'eau de la cuvette se déversant par le tube de trop-plein *t*, le gaz a acquis la pression désirée et constante sous laquelle il va désormais être débité. Remarquons, en outre, que cette pression pourrait être mesurée, au besoin, grâce à ce tube de niveau, et avec beaucoup de précision, en munissant, de même, la cuvette supérieure C d'un petit tube de niveau.

Dans la plupart des gazomètres, les tubes de niveau en verre sont raccordés à la partie supérieure avec des tubes métalliques courbés en arc de cercle, afin que le tube de niveau soit efficace dans toute la hauteur de l'appareil. Ces tubes en arc constituent des culs-de-sac qui, lorsqu'on remplit le gazomètre d'eau, recèlent de l'air ou des gaz d'opérations précédentes que l'eau ne peut en chasser. J'ai

encore remédié à cet inconvénient en munissant la partie supérieure de ces tubes en arcs de bouchons métalliques à vis *bb* (*fig.* 1 et 2), creux et percés d'un trou latéral *o* (*fig.* 3), de telle sorte qu'en les dévissant de quelques tours seulement ils font communiquer ces arcs avec l'air extérieur. Lors du remplissage du gazomètre avec de l'eau, quand celle-ci arrive en *o*, elle jaillit, annonçant que les tubes sont purgés; on serre alors les bouchons *bb*, l'eau sortant ensuite par le robinet central R indique que le gazomètre est tout à fait plein d'eau. Pour l'emplir de gaz, on n'a plus, comme dans les modèles ordinaires, qu'à déboucher la douille D, qui se trouve à la partie inférieure et à y faire pénétrer le tube de dégagement de l'appareil producteur du gaz.

Si l'on voulait, avec ce gazomètre, recueillir, comme on le fait quelquefois, une cloche de gaz dans la cuvette supérieure C, on n'aurait qu'à relier, au moyen d'un tube de caoutchouc, la tétine *r*, que l'on voit en son centre, avec le robinet de débit R. Pour l'usage courant, cette tétine se trouve obturée par un bout de tube de caoutchouc fermé lui-même par un fragment de baguette de verre plein, ainsi qu'on le voit sur la figure.

Dans ce gazomètre, tel que je l'ai fait établir, la capacité de la cuvette interne *c* est calculée de telle sorte que, lors de l'élévation de la température de la nuit au jour (15° à 20° au maximum dans un laboratoire), l'eau s'y trouve en quantité suffisante pour que le gaz dilaté ne puisse pas s'échapper à travers l'eau de la cuvette C, par le robinet R′ laissé ouvert. Il faut aussi que la capacité de la cuvette externe C soit suffisante pour que, inversement, lors de la contraction nocturne du gaz, de l'eau seule puisse rentrer dans le gazomètre et non de l'air extérieur. Ces dernières dispositions (qui ne sont pas remplies dans les gazomètres ordinaires) permettent de laisser en permanence le robinet R′ ouvert, ce qui est très avantageux, car, lorsque le gaz se contracte, il se trouve toujours ainsi à une pression supérieure à la pression atmosphérique; aucune trace d'air ne peut dès lors rentrer dans l'appareil, si l'une quelconque de ses parties, défectueuse ou mal raccordée, est sujette à de légères fuites.

En résumé, ce nouveau gazomètre réalise les conditions suivantes :

1° Grande constance du débit, grâce à une pression hydrostatique rigoureusement constante;

2° Faculté de varier cette pression, suivant les besoins, et même de la mesurer ;

3° Possibilité de purger le gazomètre de toute trace d'air ou de gaz résiduel d'opérations précédentes ;

4° Faculté d'éviter les pertes de gaz ou les rentrées d'air pouvant résulter des variations de la température extérieure.

Ce gazomètre a été construit, sur mes indications, par M. Golaz, avec tout le soin qui lui est habituel.

Appareil gazométrique ;

Par M. Job.

Le principe de cet appareil est le suivant : A l'intérieur d'un récipient clos, dont on note la température, on démasque et on fait couler un liquide sans changer la masse gazeuse enfermée dans le récipient. Si ce liquide provoque, au contact d'un autre corps contenu dans l'appareil, un dégagement ou une absorption de gaz, il suffira de ramener le tout à la température initiale et de mesurer la variation de pression, pour connaître le volume de gaz dégagé ou absorbé.

L'appareil est constitué par une ampoule munie d'un manomètre à air libre de fin diamètre. Dans le col de cette ampoule s'engage un bouchon rodé de forme spéciale. C'est, en réalité, un tube qui se rétrécit et se prolonge par une pipette graduée. Dans la partie étroite du tube s'ajuste une clef rodée qui, en le fermant, ferme tout l'appareil. Cette clef est creuse, et sa paroi est percée d'un orifice ; la paroi du tube qui lui sert de gaine est également percée d'un orifice, situé à la même hauteur. Quand la pipette est pleine de liquide et fermée par cette clef, on peut la laisser à demeure sur le col de l'appareil ; le liquide ne s'écoule pas. Une simple rotation de la clef amène les deux orifices en regard, et le liquide s'écoule, remplacé dans la pipette, par l'air de l'appareil lui-même.

La pratique et le calcul d'une expérience sont très rapides. La seule précaution dont on doive s'assurer consiste à faire la lecture de l'excès de pression à la température même où l'on a fermé le récipient. Il suffit pour cela de plonger l'ampoule dans un bain d'eau.

On imagine aisément toutes les applications auxquelles peut se

prêter cet appareil. Il permet d'analyser commodément, sans installation spéciale, un grand nombre de produits. On peut donc y recourir pour certains dosages rapides (dosage du carbure de calcium par dégagement d'acétylène, titrage des acides par dégagement de gaz carbonique, etc.). Mais, dans les laboratoires de physique, il paraît désigné surtout pour d'autres usages : toutes les fois qu'on voudra

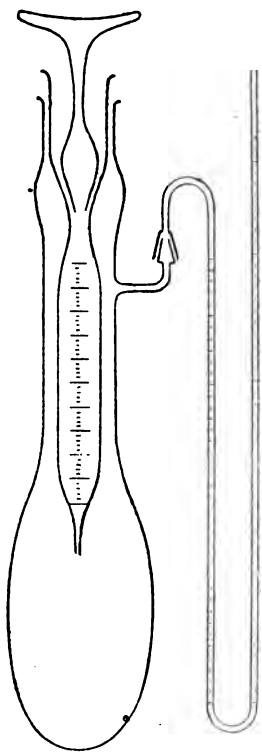


Fig. 1.

étudier des phénomènes d'équilibre entre une phase liquide quelconque et une phase gazeuse quelconque (solubilité des gaz, vaporisation, etc.), on pourra l'employer avec avantage. Très maniable, on peut l'agiter et atteindre rapidement l'état d'équilibre ; on peut lui donner une capacité faible, ce qui permet d'assurer facilement l'uniformité de température et aussi d'opérer sur des quantités de matières extrêmement petites. Enfin il paraît bien que cet appareil gazométrique rendra quelques services aux physiciens.

Sur la loi élémentaire de l'électro-magnétisme ;

Par M. C. Raveau [1].

1. Ampère a observé fort justement que les expériences qui ne portent que sur des circuits fermés ne peuvent pas nous faire connaître l'action qu'exerce un élément de courant sur un autre élément. Bien qu'il ait fait une remarque analogue au sujet de l'action d'un élément de courant sur un aimant, il a été, par la force des idées préconçues, ramené à considérer cette action comme bien déterminée. Cette circonstance explique peut-être pourquoi quelques physiciens ne semblent pas encore avoir d'opinion absolument fixe sur la question. Dans cette note, j'examine surtout les idées d'Ampère; les citations sont empruntées aux deux volumes de *Mémoires sur l'Électrodynamique*, publiés par M. Joubert dans la *Collection des Mémoires* originaux de la Société française de Physique; je désigne cet ouvrage par les lettres ME.

2. Biot et Savart ont cru déterminer l'action d'un fil rectiligne indéfini, c'est-à-dire d'une portion de courant, sur une aiguille aimantée; ils avaient eu soin de donner au « fil conjonctif... assez de longueur pour que ses extrémités, qu'il fallait recourber afin de les attacher aux pôles de l'appareil voltaïque, n'eussent sur l'aiguille, à cause de leur éloignement, qu'une action si faible qu'elle pût être impunément négligée » [2].

Laplace montra qu'on pouvait rendre compte des observations de Biot et Savart en admettant qu'un élément exerce sur un pôle une force inversement proportionnelle au carré de la distance (ME, I, p. 113). Biot déduisit ensuite de ses expériences sur les fils obliques « que l'action de chaque élément μ du fil oblique sur chaque molécule m de magnétisme austral ou boréal est réciproque au carré de sa distance μm à cette molécule et proportionnelle au sinus de l'angle $m\mu M$ formé par la distance μm avec la longueur du fil ». (ME, I, p. 117.)

3. Dans un *Mémoire sur l'application du calcul aux phénomènes électrodynamiques*, lu à l'Académie des Sciences, le 3 février 1823,

---

(1) Séance du 2 mars 1900.

(2) Biot, *Précis élémentaire de Physique*, 3e édit. (ME., I, p. 86.)

F. Savary démontre que, de l'absence d'action d'un aimant fermé (Expérience de Gay-Lussac et Welter) ou d'une hélice fermée parcourue par un courant, on peut déduire, entre les deux constantes de la formule :

$$-ii'\frac{r^{1-k-n}}{1+k}\cdot\frac{d^2r^{1+k}}{dsds'}\cdot dsds',$$

donnée par Ampère pour représenter l'action de deux éléments de courant, la relation $n+1=0$, laquelle, jointe à l'égalité $n-1+2k=0$, déjà établie par Ampère, et à la condition que k doit être négatif, détermine sans ambiguïté les valeurs $n=2$, $k=-\frac{1}{2}$. Savary calcule alors l'action d'un cylindre électrodynamique (solénoïde rectiligne) sur un élément de courant; si le cylindre est assez long, l'action se réduit à une force appliquée à l'élément dz, et dont la valeur est $\frac{\sin V dz}{r^2}$ (ME, I, p. 354).

Dans une *Note relative au mémoire de M. Savary*, Ampère observe que, malgré la ressemblance des formules de Biot et de Savary (que l'on confond généralement aujourd'hui sous le nom de loi de Laplace), « la formule de M. Biot... n'est plus d'accord avec les calculs de M. Savary que pour la valeur et la direction de la force ; elle en diffère relativement au point où l'on doit concevoir que cette force est appliquée. Cette différence en produit une dans la valeur du moment de la rotation imprimée à un aimant par un élément de courant électrique autour d'un axe quelconque ; mais elle n'influe en rien sur celle du moment total produit par la réunion de tous les éléments d'un circuit solide fermé, parce que les termes qui en résultent disparaissent des intégrales définies par lesquelles cette dernière valeur est exprimée. » (M E, I, p. 383.)

Ampère est revenu avec détails sur ce point dans son grand *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*. L'expression de la véritable *force élémentaire* avait, à ses yeux, une grande importance ; aussi, après avoir observé que l'expérience de Biot, portant sur un circuit fermé, ne peut nous apprendre si le point d'application des forces est le pôle ou l'élément, entre-t-il dans d'autres considérations. L'expérience de Faraday, sur la rotation d'une portion de fil conducteur autour d'un aimant, montre que la force est appliquée au con-

ducteur; si l'on admet que l'action soit égale et opposée à la réaction, la réaction d'un conducteur sur un pôle ne passe pas par le pôle. « Mais, ajoute Ampère, plusieurs physiciens imaginèrent alors de supposer que, dans l'action mutuelle d'un élément AB de fil conducteur et d'une molécule magnétique M, l'action et la réaction, quoique égales et dirigées en sens contraires, ne l'étaient pas suivant une même droite, mais suivant deux droites parallèles. » (ME, II, 136.) Les objections qu'adresse Ampère à cette manière de voir ne peuvent l'empêcher de reconnaître que, dans les trois hypothèses, l'action d'un circuit fermé est la même (p. 139).

4. Cependant Ampère considérait comme si nécessaire l'égalité de l'action et de la réaction qu'outre les objections de principe opposées à l'hypothèse contraire il a cru trouver dans l'expérience une preuve de cette égalité. Dans le dispositif de Faraday, où un aimant vertical flottant sur du mercure tourne autour d'une portion de courant également verticale, on sait que la rotation se produit aussi bien quand on recouvre l'aimant d'un vernis isolant que quand on laisse le courant le traverser. Ampère conclut de là « qu'il n'y a pas d'action exercée sur l'aimant par les portions de courants qui le traversent quand il n'est pas revêtu d'une enveloppe isolante, puisque le mouvement qui a lieu dans ce cas reste le même, lorsqu'on empêche les courants de traverser l'aimant, en le renfermant dans cette enveloppe. » (ME, II, p. 151.)

La seule conclusion légitime, c'est qu'en supprimant les courants qui passaient dans la masse de l'aimant on substitue à l'action qu'ils pouvaient exercer une action égale ; mais on ne prouve pas que cette action n'ait pas existé. Pour que cette preuve fût donnée, il faudrait que le seul changement fût la disparition des *portions* du courant situées à l'intérieur de l'aimant.

5. Si l'on veut reconnaître le bien fondé de la légère critique que j'adresse à un raisonnement d'Ampère, on tiendra pour établi que toutes les actions exercées par un courant sur un aimant peuvent se calculer au moins de deux façons, qui conduisent exactement au même résultat quand le courant est fermé.

Mais ces deux méthodes n'attribuent pas le même rôle à une partie déterminée du circuit; on pourra ainsi être conduit à des formes de langage très distinctes. Biot attribuait la rotation électromagnétique rappelée plus haut à l'action du courant central sur le pôle voisin; Ampère, au contraire, faisait intervenir les courants qui passent dans

le mercure. Dans les livres modernes, on fait dépendre la rotation de la section des lignes de force de l'aimant par le circuit conducteur.

Dans un mémoire récent, M. E. Lecher[1] observe qu'en adoptant cette manière de voir, si l'aimant est animé d'un mouvement de révolution autour du fil central, les éléments de ce fil ne jouent aucun rôle, puisqu'ils sont toujours rencontrés par les mêmes lignes de force. Il en conclut que l'explication de Biot est insoutenable. Ce qu'on peut dire seulement, à mon avis, c'est que, si l'on calcule la force exercée par un pôle sur un élément de courant, en exprimant que le travail de cette force est proportionnel au flux coupé par l'élément dans son déplacement et qu'ensuite on admette que la réaction de l'élément sur le pôle soit une force égale et opposée à l'action, on trouvera, en effet, que la force exercée par la partie verticale du courant est nulle[2].

Mais ce procédé de calcul ne s'impose pas; tant qu'il ne s'agit que de déterminer l'action résultante d'un circuit fermé sur un pôle, la loi élémentaire reste arbitraire en une certaine mesure et, suivant la forme qu'on adoptera, on pourra toujours considérer telle partie du circuit que l'on voudra comme fournissant le terme prépondérant[3].

Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat;

Par M. A. Cornu. [4]

Les appareils bien connus sous le nom d'*héliostats* et de *sidérostats* permettent d'envoyer dans une direction fixe, à l'aide d'un miroir mobile, le faisceau de lumière émané d'un astre entraîné par le mouvement diurne. La théorie géométrique de ces appareils est très simple : elle réduit l'astre à un point lumineux, le faisceau incident

---

(1) E. Lecher, *Ueber einen experimentellen und theoretischen Trugschluss in der Elektricitätslehre* (*Acad. de Vienne*, CVIII, 13 juillet 1899; *Ann. de Wiedemann*, t. LXIX, p. 781, décembre 1899). Voir plus bas, p. 166.

(2) On sait que cette méthode conduit précisément à la formule de Savary.

(3) J'ai développé, dans un article de *l'Eclairage électrique*, quelques observations relatives à des expériences instituées par M. Lecher, dans le but de confirmer ses vues.

(4) Séance du 6 avril 1900.

à un rayon rectiligne, qui décrit en vingt-quatre heures un cône de révolution autour de l'axe polaire de l'appareil, parallèle lui-même à l'axe terrestre. Pour obtenir la fixité du faisceau réfléchi, il faut et il suffit que la normale au miroir soit constamment parallèle à la bissectrice de l'angle que fait le rayon venu de l'astre avec la direction fixe choisie : c'est la condition que réalisent d'une manière plus ou moins parfaite les mécanismes imaginés par S'Gravesande, Gambey, Silbermann, Foucault, etc.

Si l'on reçoit suivant l'axe principal d'une lunette le faisceau réfléchi par le miroir ainsi guidé, l'image focale de l'astre restera immobile au centre du champ de vision, malgré le déplacement angulaire de la voûte céleste. Mais cette condition de fixité, réalisée géométriquement pour l'astre visé, n'est plus remplie pour les directions voisines ; on constate aisément que le champ de vision tourne autour de son centre de manière à effectuer en vingt-quatre heures une révolution complète. La vitesse de rotation n'est pas uniforme, de sorte que le déplacement angulaire du champ varie avec le temps suivant une loi qu'il importe de déterminer.

Représentons la voûte céleste par une sphère de rayon égal à l'unité et chaque ligne de visée sur le ciel par la trace sur cette sphère d'une droite menée par le centre parallèlement à cette direction.

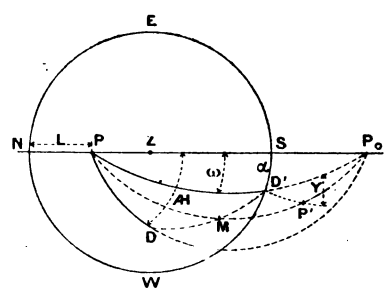


Fig. 1.

Soit NESW, le cercle d'horizon réel ou fictif (*fig.* 1) ; P, le pôle céleste ; Z, le zénith ; PZS, le méridien du lieu ; PD, le cercle horaire de l'astre ; D et D', le point de l'horizon réel ou fictif vers lequel le faisceau réfléchi est constamment dirigé.

La position de l'astre D est définie à chaque instant par sa distance polaire δ = PD, et son angle horaire AH = SPD compté positivement

dans le sens du mouvement diurne, de l'est E vers l'ouest W. De même, le point D′ est déterminé par sa distance polaire $\rho = PD'$ et par l'angle $\omega = SPD'$ que fait le plan PD′ avec le méridien. Nous appellerons *plan de référence* ce plan SPD′, qui est par extension le cercle horaire du point D′ (1).

Si, au lieu de ρ et de ω, on se donnait l'azimut $\alpha = SD'$ et l'arc PS, supplément de la latitude L, on calculerait ρ et ω à l'aide des deux relations suivantes fournies par le triangle rectangle PSD′ :

$$\cos\rho = \cos\alpha \cos L, \qquad \operatorname{tang}\omega = \frac{\operatorname{tang}\alpha}{\sin L}.$$

Pour que le faisceau émané de l'astre D soit constamment réfléchi en D′, il faut et il suffit, d'après les lois de la réflexion, que la trace M de la normale au miroir soit maintenue par le mécanisme au milieu de l'arc de grand cercle DD′. Connaissant à chaque instant la trace M de cette normale, on peut construire la trace de la direction suivant laquelle un rayon émané d'un point quelconque de la voûte céleste est réfléchi par le miroir ; il suffit de joindre ce point au point M par un arc de grand cercle et de prolonger cet arc d'une longueur égale. Ainsi l'image P′ du pôle P est sur l'arc PM prolongé jusqu'au point P′, tel que MP′ = MP. L'image sphérique réfléchie des divers points de la voûte céleste est donc à chaque instant symétrique de leur position directe par rapport au point M.

Il en résulte que l'orientation du champ de vision est entièrement déterminée par la connaissance de l'image réfléchie d'un point quelconque, en dehors de l'astre qui en occupe le centre. Le pôle P, par son immobilité sur la voûte céleste, est particulièrement désigné pour ce but, et son image D′ constitue le repère le plus simple et le plus commode.

Nous allons donc calculer pour chaque appareil la distance et l'orientation de l'image P′ du pôle, c'est-à-dire la longueur de

(1) L'emploi de la projection stéréographique sur le cercle d'horizon permet de tracer l'épure rigoureuse de tous ces arcs de cercle ; il est bon de l'adopter pour vérifier graphiquement la grandeur et le sens des angles calculés.

Mais ce mode de projection a l'inconvénient de tant déformer la grandeur des côtés des triangles sphériques qui sortent du cercle d'horizon que l'usage de ces épures est plutôt gênant qu'utile pour la clarté des démonstrations : voilà pourquoi on emploie ici des figures schématiques en dehors de tout système régulier de projections.

l'arc D'P' et l'angle Y que fait cet arc avec le grand cercle $PD'P_0$, trace du *plan de référence.*

Sidérostat. — Sous ce nom on désigne l'appareil spécialement construit pour diriger le faisceau réfléchi vers l'horizon sud.

L'avantage de cette disposition, imaginée par Léon Foucault, est de réduire autant que possible l'angle d'incidence DM = D'M des rayons venant des astres qui, à leur passage supérieur, culminent au voisinage du zénith ou de l'équateur; les aberrations de l'image réfléchie causées par les imperfections du miroir sont ainsi notablement atténuées. La *fig.* 1 représente la disposition du faisceau issu de l'astre D et renvoyé par un sidérostat dans une direction horizontale faisant avec le méridien sud un angle α compté positivement vers l'ouest; α est généralement une petite fraction de l'angle droit.

1° *Distance* P'D' *de l'image* P' *du pôle au centre* D' *du champ.* — L'arc D'P' est le côté du triangle MD'P' symétrique du triangle MDP, puisque MD' = MD et MP' = MP. Ces deux triangles sont égaux comme ayant un angle égal en M compris entre deux côtés égaux. Les deux côtés D'P' et DP, opposés à l'angle égal, sont donc égaux : D'P' = DP = δ. Donc : *la distance* D'P' *de l'image du pôle à l'image de l'astre (centre du champ) est égale à la distance polaire de l'astre visé.* D'où il résulte que *l'image du pôle décrit autour du centre du champ un cercle ayant pour rayon la distance polaire de l'astre visé.*

2° *Orientation de l'arc* D'P'. — Soit Y l'angle que l'arc D'P' fait avec $D'P_0$, prolongation de la trace du plan de référence DP.

$$Y = P_0D'P' = \pi - PD'P' = \pi - (PD'D + DD'P') = \pi - (PD'D + PDD'),$$

car DD'P' = PDD' en vertu de l'égalité des triangles MDP et MD'P'. L'angle cherché Y est donc le supplément des angles à la base du triangle PDD', dont le sommet est en P. De la formule de Neper :

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}(B + C) = \frac{\cos\frac{1}{2}(b - c)}{\cos\frac{1}{2}(b + c)} \operatorname{cotang}\frac{A}{2}.$$

on déduit, en substituant $A = DPD' = \text{Æ}H - \omega$, $b = \rho$, $c = \delta$,

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2} Y = \frac{\cos\frac{1}{2}(\rho + \delta)}{\cos\frac{1}{2}(\rho - \delta)} \operatorname{tang}\frac{1}{2}(\text{Æ}H - \omega),$$

expression qui donne l'orientation de l'arc D'P' et, par suite, la loi de la rotation du champ de vision, car $\text{Æ}H$ varie proportionnellement au temps.

Si l'on prend pour origine du temps le moment où l'astre visé est dans le plan de référence, $t = 0$ pour $\text{Æ}H - \omega = 0$, et pour unité de temps le jour sidéral ou solaire (suivant l'astre considéré), on a $\text{Æ}H - \omega = 2\pi t$, et l'expression de Y prend la forme symétrique

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}\,Y = K \operatorname{tang}\frac{1}{2}\,2\pi t,$$

avec

$$K = \frac{\cos\frac{1}{2}(\rho + \delta)}{\cos\frac{1}{2}(\rho - \delta)} \qquad \text{et} \qquad \text{Æ}H - \omega = 2\pi t.$$

On en conclut aisément :

a. La rotation du champ a la même période que le mouvement diurne.

b. Elle est continue et toujours dans le même sens, direct ou inverse suivant le signe de K.

c. Le plan de référence est un plan de symétrie, car l'angle Y prend des valeurs égales et de signe contraire à des époques équidistantes de part et d'autre de l'origine du temps.

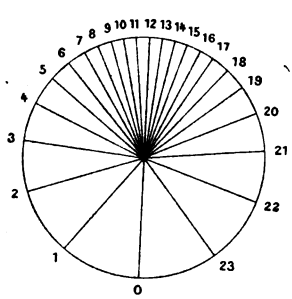


Fig. 2.

On pourrait représenter géométriquement cette loi de rotation par une courbe en prenant le temps comme abscisse, et l'angle Y comme ordonnée. Mais on aura une figuration plus directe de la rotation du champ en considérant l'arc D'P' comme le rayon vecteur mobile du cercle décrit par l'image P' du pôle et en traçant les positions successives de ce rayon vecteur à des époques équidistantes, subdivi-

sions aliquotes du jour. La *fig.* 2 offre une représentation de ce genre sur le plan tangent à la sphère en D′; les vingt-quatre positions successives de D′P′ se projettent suivant des rayons rectilignes; elles correspondent à la subdivision du jour en vingt-quatre heures. L'origine du temps $t = 0$ correspond à $D'P_0$, trace du plan de référence et axe de symétrie.

3° *Expression de la vitesse angulaire.* — La vitesse angulaire de rotation à l'époque t s'obtient en prenant la dérivée de l'expression de Y par rapport à t; toutes réductions faites, on obtient la formule:

$$\frac{dY}{dt} = 2\pi \frac{K}{\cos^2 \pi t + K^2 \sin^2 \pi t}$$

Le dénominateur étant essentiellement positif, la vitesse a toujours le signe de K; elle varie périodiquement entre la valeur $2\pi K$, correspondant aux époques $t = 0, 1, 2, \ldots$, et la valeur $\frac{2\pi}{K}$, correspondant aux époques intermédiaires $t = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \ldots$, en passant par la valeur 2π, vitesse angulaire du mouvement diurne, aux époques données par la condition:

$$\cos^2 \pi t + K^2 \sin^2 \pi t = K,$$

ou

$$\operatorname{tang} \pi t = \frac{\pm 1}{\sqrt{1 + K}}.$$

Comme les positions de l'astre les plus favorables à l'observation (passage supérieur) sont voisines du plan de référence $t = 0$, la vitesse de rotation peut être considérée comme constante et égale à $2\pi K$, car cette vitesse varie peu aux environs de $t = 0$, puisqu'elle répond à un maximum ou à un minimum. La vitesse $\frac{2\pi}{K}$ n'est jamais observable avec le sidérostat, qui ne permet pas d'observer les passages inférieurs.

L'unité de vitesse angulaire est évidemment celle de 2π ou d'une circonférence par jour; si l'on voulait prendre une autre unité, exprimer, par exemple, la vitesse en minutes d'arc par minutes de temps, ou plus généralement en n^{mes} de circonférence par m^{mes} de jour, il suffirait de remplacer 2π par $\frac{n}{m}$. En effet, ce changement

d'unités revient à poser :

$$\frac{Y}{2\pi} = \frac{y'}{n}, \qquad \frac{t'}{1} = \frac{\pi}{m}.$$

d'où :

$$\frac{dy'}{d\pi} = \frac{1}{2\pi}\frac{n}{m}\frac{dY}{dt}.$$

Comme il y a $n = 360 \times 60$ minutes d'arc dans la circonférence et $m = 24 \times 60$ minutes de temps, la vitesse $2\pi K$, devenue $\frac{n}{m}K$, est ici égale à $15K$; on retrouve bien 15′ d'angle par minute de temps pour la vitesse angulaire du mouvement diurne $K = 1$.

4° *Sens du mouvement de rotation du champ de vision.* — On doit supposer l'observateur recevant le faisceau lumineux ; par conséquent il dirige son regard vers le centre de la sphère suivant le rayon qui aboutit en D′, d'où il résulte que le sens du mouvement de rotation sera celui qu'un observateur placé suivant la direction D′ en dehors de la sphère attribuera au mouvement de l'arc D′P′. D'après l'expression de Y, on voit que Y et $Æ = \omega$ seront de même signe, si le coefficient K est positif. On connaît le sens du mouvement diurne, c'est-à-dire le sens de la variation positive de Æ ; on voit sur la *figure* que, quand l'ascension droite de l'astre D grandit, l'arc PD, vu de l'extérieur de la sphère, tourne dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre ; donc pour K positif, Y varie dans le même sens. La condition pour que K soit positif est évidemment :

$$\cos\frac{1}{2}(\rho + \delta) > 0, \qquad \frac{1}{2}(\rho + \delta) < \frac{\pi}{2}, \qquad \delta < \pi - \rho.$$

D'où l'on conclut :

Lorsque la distance polaire de l'astre visé est moindre que le supplément de la distance polaire de la direction réfléchie, le sens apparent de la rotation du champ de vision du sidérostat est celui du mouvement des aiguilles d'une montre.

Il est de sens contraire, si la distance polaire de l'astre est moindre que ce supplément. L'observation avec une lunette astronomique ne change pas le sens de la rotation : le *renversement* des images se borne à tourner de 180° la direction origine $D'P_0$.

5° *Distance polaire critique : champ de vision immobile.* — La transition entre ces deux cas correspond à la condition $K = 0$, c'est-

à-dire $\cos\frac{1}{2}(\rho + \delta) = 0$; la valeur de Y demeure constamment nulle, quelle que soit l'ascension droite de l'astre; donc:

Le champ de vision du sidérostat reste rigoureusement immobile lorsque la distance polaire de l'astre visé est égale au supplément de la distance polaire de la direction réfléchie.

Ce cas d'immobilité absolue du champ correspond à une particularité géométrique qui rend le résultat évident: on démontre, en effet, aisément que, si $\rho + \delta = \pi$, l'arc $PM = \frac{\pi}{2}$; la normale au miroir devient normale à la ligne des pôles; le miroir est donc parallèle à l'axe terrestre. En outre, l'arc PM bissecte l'angle DPD'; par suite, le miroir tourne d'un angle égal à la moitié de la variation de l'angle horaire. Ce sont les deux conditions caractéristiques du *Cœlostat* de M. Lippmann [1], appareil très simple qui donne une image du ciel absolument fixe; il se compose, en effet, d'un miroir tournant autour d'un axe parallèle à son plan et à l'axe terrestre avec une vitesse angulaire égale à la moitié de celle du mouvement diurne et de même sens.

Le sidérostat peut donc remplacer le cœlostat pour une région du ciel située autour d'un astre de distance polaire δ; il suffit de choisir pour direction du faisceau réfléchi l'une de celles qui satisfont à la condition $\rho + \delta = \pi$, c'est-à-dire l'une des génératrices du cône de révolution faisant avec l'axe terrestre l'angle $\pi - \delta$ ou supplément de la distance polaire. Il est bon de connaître cette propriété du sidérostat, car on peut, dans certaines circonstances, l'utiliser sans grande complication expérimentale.

6° *Sidérostat orienté dans le méridien.* — C'est le mode d'installation le plus ordinaire du sidérostat; le faisceau réfléchi horizontalement est dirigé exactement vers le sud. Il en résulte que $\omega = 0$, $\rho = \pi - L$, L étant la latitude. L'angle Y est l'angle que fait l'arc D'P' avec le méridien devenu le plan de référence et de symétrie. L'expression de Y prend la forme:

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2} Y = K \operatorname{tang}\frac{1}{2} AH,$$

avec

$$K = \frac{\sin\frac{1}{2}(L - \delta)}{\sin\frac{1}{2}(L + \delta)}.$$

---

(1) *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXX, p. 1015.

Les énoncés précédents deviennent alors très simples.

Avec le sidérostat orienté dans le méridien, le champ de vision est immobile, lorsque la distance de l'astre visé est égale à la latitude du lieu d'observation; la rotation du champ a lieu dans le sens des aiguilles d'une montre, si cette distance polaire est moindre que la latitude; en sens inverse, si elle est plus grande.

Le coefficient K, qui définit la valeur pratiquement constante de la vitesse de rotation du champ en fonction de la rotation diurne, est toujours plus petit que l'unité.

En voici les valeurs numériques pour la latitude de Paris, L = 48° 50, δ croissant de 10° en 10° (passage supérieur) :

δ	K	δ	K
0° (pôle)	+ 1,000	70°	— 0,213
10	0,677	80	— 0,298
20	0,440	90	— 0,376
30	0,258	100	— 0,448
40	+ 0,105	110	— 0,518
48 50 = L	0,000	120	— 0,585
50	— 0,013	130	— 0,651
60	— 0,120		

Héliostat. — C'est l'appareil qui renvoie le faisceau réfléchi dans une direction voisine de l'horizon nord, rarement au-delà du NE ou du NW.

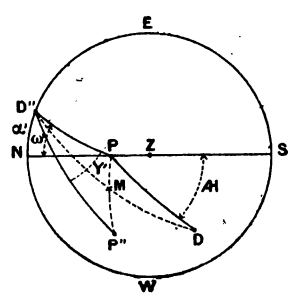


Fig. 3.

La *fig.* 3 représente le faisceau issu de l'astre D et renvoyé dans la direction horizontale D″, faisant avec le méridien nord un angle NPD″ = α′, compté positivement vers l'est. Le pôle est en P ; SPD est l'angle horaire, et δ la distance polaire de l'astre visé D. Nous désignerons par ω′ = NPD″ et p' = PD″ l'angle horaire et la distance polaire de la direction réfléchie D″, qu'on déduit comme précédem-

ment de l'azimut α' et de la latitude L au moyen du triangle rectangle NPD″. La normale M au miroir est au milieu de l'arc DD″ et l'image P″ du pôle sur l'arc PM prolongé de telle sorte que MP″ = MP.

L'angle de rotation du champ sera déterminé par l'angle que fait l'arc D″P″ avec la trace du plan de référence PD″.

Soit Y′ = PD″P″ cet angle ; on le déduirait aisément de l'expression de Y relative au sidérostat, dont la définition est analogue ; mais il est plus simple de le calculer directement.

Les triangles PDM et P″D″M sont égaux comme ayant un angle égal en M compris entre deux côtés égaux DM = D″M, PM P″M. Donc D″P″DP = δ.

Ainsi, comme avec le sidérostat, *l'image du pôle réfléchie par l'héliostat décrit, autour du centre du champ, un cercle ayant pour rayon la distance polaire de l'astre visé.*

D'autre part :

$$Y' = PD'P = PD'D + DD'P' = PD'D + D'DP',$$

en vertu de l'égalité des deux triangles PMD et P″MD″. L'angle Y est donc la somme des deux angles à la base du triangle PDD″ dont le sommet est en P. De la formule de Neper citée plus haut on déduit, en substituant :

$$b = \rho', \qquad c = \delta \qquad \text{et} \qquad A = \pi - \text{Æ}\text{H} + \omega',$$

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2} Y' = \frac{\cos\frac{1}{2}(\rho' - \delta)}{\cos\frac{1}{2}(\rho' + \delta')} \operatorname{tang}\frac{1}{2}(\text{Æ}\text{H} - \omega').$$

Y est compté positivement dans le sens des aiguilles d'une montre. On met également cette expression sous la forme :

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2} Y' = K' \operatorname{tang}\frac{1}{2} 2\pi t,$$

en posant :

$$K' = \frac{\cos\frac{1}{2}(\rho' - \delta)}{\cos\frac{1}{2}(\rho' + \delta)} \qquad \text{et} \qquad \text{Æ}\text{H} - \omega' = 2\pi t.$$

On retrouve les trois conclusions (*a*), (*b*), (*c*), démontrées ci-dessus pour le sidérostat (p. 51). Nous ne répéterons pas la discussion, qui

serait toute semblable; mais nous insisterons sur la différence qui existe au point de vue pratique entre les deux appareils : avec l'héliostat, le coefficient K′ est toujours plus grand que l'unité et conserve le signe positif dans les conditions où l'on utilise d'ordinaire l'héliostat, c'est-à-dire dans l'observation du passage supérieur des astres au voisinage du zénith ou de l'équateur, réfléchis dans une direction qui ne s'écarte pas beaucoup de l'horizon du nord.

En effet on peut, en développant la valeur des cosinus, écrire K′ sous la forme :

$$K' = \frac{1 + \operatorname{tang}\frac{1}{2}\rho' \operatorname{tang}\frac{1}{2}\delta}{1 - \operatorname{tang}\frac{1}{2}\rho' \operatorname{tang}\frac{1}{2}\delta}.$$

Le signe + du coefficient K′ correspond ici, comme on le voit sur la figure, à une variation de Y′ de sens contraire à celle de l'angle horaire Æ. Donc on en conclut :

Le champ de vision de l'héliostat, dans les conditions où il est utilisable, tourne avec une vitesse angulaire toujours plus grande que celle du mouvement diurne; le sens de la rotation est celui des aiguilles d'une montre.

Cette conclusion met en évidence une nouvelle cause d'infériorité de l'héliostat sur le sidérostat : à l'inconvénient provenant de la réflexion sous de grandes incidences sur le miroir de l'héliostat, se joint celui d'une grande vitesse de rotation du champ de vision. Ces deux conditions sont défavorables pour les observations qui exigent, dans les images, une grande perfection en même temps qu'une complète stabilité : c'est ce qui fait préférer le sidérostat pour l'astronomie de précision.

Mais cette rapidité de rotation du champ n'est pas toujours un inconvénient; pour certaines observations astrophysiques, elle est, au contraire, avantageuse, en ce sens qu'elle dispense de l'emploi de dispositifs optiques complexes et délicats; en voici un exemple :

Imaginons qu'on projette, à l'aide d'un objectif convenable, l'image solaire réfléchie par un héliostat sur la fente d'un spectroscope à grande dispersion pour étudier le déplacement des raies, dû aux mouvements de la surface du soleil. La condition la plus favorable se présente quand l'équateur solaire est normal à la fente; si l'on balance cette image de manière à amener successivement les bords opposés du disque tangentiellement à cette fente, on obtient le

double du déplacement maximum provenant de la différence des vitesses radiales sur le pourtour de l'équateur (méthode du balancement des raies).

A moins de circonstances exceptionnelles, l'image du disque solaire ne se présentera pas dans cet azimut favorable et aura peu de chance de l'atteindre, si l'on emploie un sidérostat, puisque, avec cet appareil, la vitesse de rotation du champ de vision est nulle ou très petite.

Pour amener l'équateur dans l'azimut demandé, on est obligé d'avoir recours à un appareil auxiliaire composé, par exemple, d'un prisme isocèle à réflexion totale, mobile autour d'un axe parallèle à sa base ; la rotation de ce prisme entraîne d'un angle double l'azimut du disque solaire, ce qui permet d'amener successivement l'équateur perpendiculairement à la fente dans les deux positions à 180°, qui reproduisent le double déplacement maximum en ordre inverse. Mais le prisme doit être très parfait, comme matière et planéité des surfaces ; de plus, la monture rotative qui l'entraîne est assez difficile à construire et à régler.

Avec l'héliostat, la rotation spontanée du champ de vision dispense de cet appareil auxiliaire ; il suffit d'attendre l'effet de cette rotation, et l'on voit l'équateur solaire se placer de lui-même perpendiculairement à la fente. A certaines époques de l'année, pour certaines orientations de la fente et du faisceau réfléchi par l'héliostat, cette condition de perpendicularité se présente deux fois dans la même journée, à quelques heures d'intervalle, l'image de l'équateur solaire tournant de 180°.

Ce résultat, que j'ai découvert par expérience et observé plusieurs fois, m'a beaucoup surpris au premier abord ; je pensais qu'il fallait environ douze heures pour que l'image réfléchie du disque solaire pût tourner de 180° autour de son centre. Aussi est-ce la recherche de l'explication de ce phénomène qui est l'origine du présent travail. La discussion complète exigerait des développements assez longs. Je me bornerai ici à indiquer le principe des démonstrations.

L'explication repose sur la grandeur relative de la vitesse de rotation du champ de l'héliostat, lorsque l'astre visé est voisin de l'équateur ($\delta = 90°$). Le coefficient K′, qui la mesure en fonction de la rotation diurne, est, en effet, pour le soleil entre les deux solstices, compris entre 2 et 5.

Voici la Table des valeurs de K′, dans le cas usuel où l'héliostat

est orienté dans le méridien, le faisceau réfléchi dirigé horizontalement vers le nord; on substitue, dans la formule $\omega' = 0$, $\rho' = L = 40° 50'$, δ croissant de 10° en 10° (passages supérieurs) :

δ	K'	δ	R
0° (pôle)	1,000	70°	1,932
10	1,083	80	2,231
20	1,174	90 (équinoxe)	2,663
30	1,277	100	3,358
40	1,396	113 37 (solstice d'hiver)	5,489
50	1,537	110	4,687
60	1,710	120	8,359
66 38 (solstice d'été)	1,849		

La valeur K' tend vers l'infini, qu'elle atteint lorsque l'astre est à l'horizon sud : c'est, en effet, une distance polaire critique $\rho + \delta = \pi$, qui correspond d'ailleurs à l'incidence rasante sur le miroir.

La connaissance de la valeur K' permet de calculer la durée qui s'écoule entre les époques t_1 et t_2, entre lesquelles l'image du champ a tourné de 180°. Soient Y'_1 la valeur de l'angle Y' à l'époque t_1, où l'équateur solaire, par exemple, est normal à la fente du spectroscope, et $Y'_2 = Y'_1 + \pi$ la valeur Y'_1 augmentée de 180° à l'époque t_2. On aura les deux conditions :

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2} Y'_1 = -K \operatorname{tang}\pi t_1, \qquad \operatorname{cotang}\frac{1}{2} Y'_2 = K' \operatorname{tang}\pi t_2.$$

Multipliant membre à membre, il vient finalement :

$$\operatorname{tang}\pi t_1 \operatorname{tang}\pi t_2 = -\frac{1}{K'^2}.$$

Le signe — montre que les deux époques t_1 et t_2 (supposées aussi rapprochées que possible) sont de signe contraire, ce qui signifie que les deux positions correspondantes de l'astre sont situées de part et d'autre du plan de référence (ici, du plan méridien); il faut excepter les cas limites où $t = 0$ et $t = \frac{1}{2}$. Soit $\theta = t_2 - t_1$ la différence des deux époques; si l'on se donne t_1, on calculera t_2. L'intérêt est surtout de connaître les deux époques pour lesquelles cette différence est minimum.

Écrivons donc $d\theta = 0$, c'est-à-dire $dt_2 - dt_1 = 0$, et différentions la relation qui lie t_1 à t_2; il vient, tous calculs faits,

$$\sin\pi (t_2 + t_1) \cos\pi (t_2 - t_1) = 0.$$

C'est la solution $t_2 - t_1 = 0$ qui donne le minimum cherché ; l'autre, $t_2 - t_1 = \frac{1}{2}$ donne le maximum de 12 heures, qui n'a pas d'intérêt.

Les deux époques cherchées, symétriques par rapport à $t = 0$, sont mesurées par des durées égales et de signe contraire ; substituant, pour avoir leur valeur absolue,

$$\tang \pi t = \frac{1}{K'}.$$

En donnant à K′ les valeurs croissantes depuis $K' = 1$ (rotation uniforme), qui donne $t = \frac{1}{4}$ de jour ou 6 heures et $t_2 - t_1 = 12$ heures, on trouve que l'intervalle $\theta = t_2 - t_1$ se resserre de plus en plus. Appliquant le calcul à la détermination de cette différence θ aux trois époques les plus intéressantes relatives au soleil, on obtient :

	θ
Solstice d'été.....	$7^h\ 54$
Equinoxe.....	5 30
Solstice d'hiver.....	2 45

résultats qui démontrent la possibilité de voir tourner l'équateur de 180° en beaucoup moins de 12 heures.

D'ailleurs, la rotation n'a pas besoin d'être exactement de 180° pour montrer successivement les deux effets inverses du balancement des raies, car la vitesse absolue des parallèles solaires ne diminue que de $\frac{1}{10}$ jusqu'à $\pm$ 25° de latitude héliocentrique, de sorte qu'un déplacement de 180° — 50° = 130° suffit à montrer le double phénomène dans toute sa netteté.

Il resterait à déterminer les orientations du faisceau réfléchi les plus favorables à l'observation ; mais ce problème est assez complexe et mérite d'être traité à part.

Ce qui précède suffit à montrer que, même dans les particularités des instruments qui, au premier abord, paraissent des imperfections fâcheuses, on trouve des ressources utilisables pour d'autres genres d'expériences. L'étude approfondie des appareils, dans leurs propriétés géométriques, apporte, le plus souvent, quelque particularité susceptible de rendre des services inattendus.

Étude sur le rôle des discontinuités dans les phénomènes de propagation ;

Par M. Vieille [1].

J'ai reconnu, au cours d'expériences sur la vitesse de propagation de la détonation dans des mélanges gazeux explosifs, qu'une condensation violente, produite par une petite charge explosive employée comme excitateur, se propageait dans le milieu avec des vitesses énormes, alors même que la détonation de ce milieu n'était pas obtenue, c'est-à-dire qu'il fonctionnait comme inerte.

Cette première observation m'a conduit aux recherches qui font l'objet du présent travail, c'est-à-dire à l'étude des vitesses de propagation d'ébranlements intenses dans des milieux inertes en repos.

Ces recherches m'ont montré que le phénomène de propagation à grande vitesse était tout à fait général.

Toutes les fois que des condensations intenses sont produites, on peut observer, à une distance convenable du centre de production, des vitesses pouvant atteindre deux à quatre fois la vitesse normale du son.

Si la condensation initiale n'est pas soutenue, ce qui est, par exemple, le cas dans la combustion de faibles charges explosives, ces vitesses s'amortissent avec une extrême rapidité et ne peuvent être observées que sur des parcours de quelques mètres.

Si la condensation est soutenue soit par l'action d'un piston mobile à grande vitesse, c'est le cas d'un projectile se mouvant dans l'air, soit par une réaction chimique compensant l'affaiblissement de l'onde, au fur et à mesure de sa translation, c'est le cas de la détonation des matières explosives, on observe des vitesses constantes sur de grands parcours, bien que ces vitesses puissent atteindre des valeurs bien supérieures à la vitesse du son.

Ces grandes vitesses de propagation ne s'expliquent pas par la théorie de la propagation d'un ébranlement, tant qu'on admet qu'il y a continuité entre les états du milieu avant et après la perturbation. Elles s'expliquent, au contraire, si l'on suppose l'existence des discontinuités que Riemann et Hugoniot ont considérée comme une conséquence nécessaire de la vitesse de propagation variable des ondes élémentaires inégalement condensées.

---

[1] Séance du 16 mars 1900.

1. — Théorie de la propagation par ondes planes.

La théorie analytique des phénomènes de propagation par ondes planes dans les gaz parfaits a été donnée par Riemann dans un court mémoire publié en 1860 et par Hugoniot dans un mémoire beaucoup plus étendu publié dans le *Journal de l'École Polytechnique* en 1887 : Hugoniot a rattaché cette théorie à l'étude des caractéristiques des surfaces représentatives des intégrales de l'équation différentielle du mouvement.

La démonstration géométrique donnée par Hugoniot pour établir la valeur de la vitesse de propagation d'une discontinuité peut être étendue au cas d'une condensation quelconque, et permet d'arriver simplement aux notions essentielles relatives à la propagation des ondes par tranches parallèles ou en tuyau cylindrique.

Considérons une tranche AB (*fig.* 1), atteinte, au temps t, par une perturbation caractérisée par la pression p_1, la dilatation z_1 et la vitesse v_1 ; en aval de AB, le milieu est caractérisé par les valeurs analogues p, v, z. Au bout du temps dt, la perturbation p_1, v_1, z_1 a envahi une longueur dx du milieu p, v, z, longueur du milieu comptée dans son état initial sous la densité ρ_0, et le volume ABA'B' est passé à l'état p_1, v_1, z_1.

Appliquons le théorème des quantités de mouvement en projection sur l'axe du tube ; on a :

$$\rho_0 (v_1 - v)\, dx = (p_1 - p)\, dt. \tag{1}$$

On a d'autre part, pour la variation de longueur de la tranche,

$$(z_1 - z)\, dx = -(v_1 - v)\, dt, \tag{2}$$

d'où résulte la vitesse $\frac{dx}{dt}$ de propagation de la perturbation $p_1 v_1 z_1$ dans le milieu pvz :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{p_1 - p}{z_1 - z}}. \tag{3}$$

Ainsi donc, quelle que soit la nature de la perturbation sans restriction d'aucune sorte, relative à la continuité, la vitesse de propagation s'exprime en fonction de la loi particulière qui lie l'accroissement de pression à l'accroissement de dilatation.

Cas de la continuité. — Supposons que les perturbations se succèdent suivant une loi continue ; l'expression (3) devient :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{-\frac{1dp}{\rho_0 dz}}. \tag{4}$$

1° *Propagation dans un milieu en repos.* — Supposons que le milieu en aval de AB soit un gaz parfait en repos primitif de densité p_0, de pression ρ_0 et de condensation nulle ($z = 0$) ; autrement

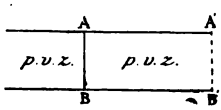


Fig. 1.

dit, supposons que l'on considère la perturbation du front de l'onde. Le milieu éprouve une transformation adiabatique régie par la loi statique :

$$p(1 + z)^m = p_0,$$

où m désigne le rapport des chaleurs spécifiques ; par suite

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{pm}{1 + z};$$

en substituant, on obtient l'expression classique de la vitesse du son :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{mp_0}{\rho_0}};$$

le rapport $\frac{p_0}{\rho_0}$ de la pression primitive du gaz à sa densité, à une même température, est constant pour les gaz auxquels la loi de Mariotte est applicable. La vitesse de propagation est donc constante, quelle que soit la loi d'attaque et la pression du milieu.

2° *Propagation des condensations élémentaires les unes dans les autres.* — Considérons non plus la perturbation de tête, mais une des perturbations élémentaires dans lesquelles peut se décomposer l'onde totale.

La formule (4) permet d'évaluer la vitesse de propagation de cette perturbation dans le milieu modifié par le passage de la perturbation élémentaire qui la précède immédiatement.

A cet effet, considérons le milieu en aval de AB comme déjà modifié par une transformation adiabatique qui l'a amené à l'état pvz ; dans ce cas dx n'est pas la longueur évaluée par rapport à des repères fixes, parcourue par la perturbation AB. La condensation du milieu à l'instant de son invasion étant z, cette longueur est :

$$dx(1 + z).$$

La vitesse par rapport à des repères fixes est donc :

$$V = \frac{dx}{dt}(1 + z) = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{dp}{dz}(1 + z)^2}.$$

Reste à évaluer $\frac{dp}{dz}$; lorsqu'il y a continuité, on démontre que la loi adiabatique statique reste applicable aux déformations élémentaires de l'onde en mouvement.

On a donc, comme dans le cas du repos :

$$\frac{dp}{dz} = \frac{-mp}{(1 + z)},$$

d'autre part, le poids de la tranche restant constant,

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + z};$$

donc :

$$V = \sqrt{\frac{mp}{\rho}}. \tag{5}$$

La vitesse de propagation d'une perturbation élémentaire est donc variable ; en effet le rapport $\frac{p}{\rho}$, constant dans la compression isotherme croît rapidement avec la pression dans la compression adiabatique.

Naissance des discontinuités.

Il résulte de ce qui précède qu'une succession de condensations croissantes produites au point origine des perturbations, suivant une loi quelconque, se propage avec des vitesses élémentaires dont les valeurs sont également croissantes jusqu'à celle qui correspond à la condensation maximum. Le sens de cette inégalité subsistant à tout

instant, la condensation maximum se rapproche donc d'une façon continue des faibles condensations de tête.

Inversement une dilatation maxima se rapprochera de l'arrière de l'onde ou, plus exactement, se laissera rattraper par les dilatations les plus faibles.

De là résulte nécessairement, comme l'ont montré Riemann et Hugoniot, la naissance d'une discontinuité produite par l'arrivée, en tête de l'onde, de condensations présentant une différence finie de pression, de vitesse et de condensation avec le milieu non perturbé.

Vitesse de propagation des discontinuités.

L'expression (3) de la vitesse de propagation reste applicable, mais la loi particulière qui lie l'accroissement fini des condensations n'est plus la loi adiabatique statique.

Hugoniot a montré que, dans une transformation discontinue, le milieu met en jeu une élasticité dynamique spéciale supérieure à l'élasticité statique et qui permet à des condensations modérées de se propager avec des vitesses pouvant croître au-delà de toute limite.

L'expression de la loi adiabatique dynamique s'obtient en joignant aux relations (1) et (2) une troisième relation exprimant le principe de l'équivalence; on écrit que la variation d'énergie totale de la tranche envahie par la discontinuité, c'est-à-dire la somme de la variation de force vive et de la variation d'énergie interne, est égale au travail des forces extérieures.

On obtient [1] ainsi l'équation (6) :

$$(6) \qquad \left[\frac{\rho_0}{2}(v_1^2 - v^2) + \frac{p_1(1+z_1) - p(1+z)}{m-1}\right]\frac{dx}{dt} = pv - p_1 v_1.$$

Les équations (1), (2) et (6) permettent d'éliminer, en même temps que les variables v et y, le rapport $\frac{dx}{dt}$, et l'on obtient la relation adiaba-

---

[1] L'expression de l'énergie interne d'un volume V d'un gaz parfait peut être mise sous la forme $\frac{pV}{m-1}$; d'autre part, le volume V des gaz par unité de section du tuyau soumis à la transformation est $(1+z)\,dx$.

tique dynamique :

$$p_1 = p\,\frac{2\,(1+z) - (m-1)\,(z_1 - z)}{2\,(1+z) + (m+1)\,(z_1 - z)}. \tag{7}$$

En portant dans l'expression (3), il vient, pour la valeur de la vitesse de propagation d'une discontinuité dans un milieu en repos pour lequel $z = 0$:

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{mp}{\rho}\,\frac{1}{1 + \frac{m+1}{2}\,z_1}}. \tag{8}$$

Cette vitesse dépend, par le facteur $\dfrac{1}{1 + \frac{m+1}{2}\,z_1}$, du degré de discontinuité réalisé sur le front de l'onde. Pour une discontinuité très petite, on retombe sur la formule classique de la propagation du son. Mais, si z_1 prend des valeurs finies et négatives, m étant, pour les gaz parfaits, voisin de 1,40, on voit qu'il suffit que la condensation brusque du milieu atteigne $\frac{5}{6}$, ou que le volume de la tranche soit réduit au $\frac{1}{6}$ pour que la vitesse de propagation s'accroisse au-delà de toute limite. Si l'on élimine, entre les relations (3) et (7), la valeur de $z_1 - z$, on obtient une autre forme de la vitesse de propagation en fonction de la pression $P_1 - P_0$ de discontinuité :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{1}{\rho_0}\,\frac{P_0}{2}\left[2m + (m+1)\,\frac{P_1 - P_0}{P_0}\right]} \tag{9}$$

qui nous sera utile au cours de cette étude.

II. — Production spontanée des discontinuités.

La théorie développée dans le chapitre I montre que la propagation par discontinuité n'est pas liée, en principe, à la brusquerie du mode d'excitation, ni à la raideur du front de l'onde initiale. C'est par le jeu des différences de vitesse des ondes élémentaires, dans lesquelles peut se subdiviser l'onde totale, que le front de cette onde se raidit progressivement jusqu'à la suppression de son raccordement avec le milieu non ébranlé.

On doit donc observer, dans tous les cas, après un parcours suffi-

sant, la discontinuité, alors même que l'onde initiale est produite dans des conditions qui assurent à l'origine sa continuité avec le milieu.

Mais, en pratique, si l'on veut observer facilement le phénomène à distance modérée du point d'excitation, il convient de produire des ondes fortement condensées et dont le front de raccordement soit suffisamment raide. La combustion d'explosifs à déflagration rapide constitue, semble-t-il, le seul moyen de réaliser ces conditions, si l'on exclut les dispositifs mécaniques fondés sur la rupture d'enveloppes ou de diaphragmes qui pourraient être, *a priori*, considérés comme des causes de discontinuité distinctes de celle que fait prévoir la théorie.

La naissance de ces discontinuités spontanées peut être mise en évidence par deux méthodes, soit directement, en enregistrant la loi de déformation de l'onde à mesure qu'elle se propage, soit indirectement, en constatant des vitesses de propagation moyennes bien supérieures à la vitesse normale du son dans le milieu.

Première méthode. — On détermine, en divers points de son parcours, la forme de l'onde en inscrivant en ces points la loi des pressions en fonction du temps. J'ai utilisé, pour cette mesure, des manomètres à ressort à flexion faible et à période oscillatoire très courte de 1/2 millième de seconde environ. Tant que la loi de développement des pressions n'est pas trop brusque et que sa durée dépasse le triple de la période du ressort, soit $1^{m2},5$ environ, le manomètre inscrit sans oscillation, d'une façon sensiblement statique, les pressions. Lorsqu'au contraire la brusquerie de l'attaque s'accroît, le tracé devient oscillatoire et se confond avec la sinusoïde rapidement amortie correspondant à l'oscillation propre du ressort. Le passage de la forme statique du tracé à la forme oscillatoire fournit donc la preuve qualitative évidente du raidissement progressif de l'onde.

J'ai effectué deux séries d'expériences dans lesquelles la condensation, dont on suivait la déformation progressive, était produite par une charge de poudre de chasse placée à l'extrémité d'une éprouvette d'acier close, de 22 millimètres de diamètre et de $2^{m},50$ à 4 mètres de longueur.

Dans une première série de huit essais, on enregistrait sur un cylindre tournant la loi de développement des pressions, d'une part, au contact de la charge sur l'un des fonds du tube et, d'autre part, à l'extrémité opposée.

Tous les tracés indiquent que la loi de développement des pressions, relativement douce au voisinage de la charge, prend une brusquerie extrême à l'extrémité opposée.

Dans une deuxième série d'expériences, j'ai cherché à éliminer l'influence que la réflexion sur le fond du tube pourrait exercer sur la forme de l'onde enregistrée, en inscrivant la loi des pressions, développée par le passage de l'onde au premier tiers et au deuxième tiers de la longueur de l'éprouvette. La discussion des particularités présentées par ces tracés sortirait du cadre de cette étude. Il suffira de mentionner qu'ils ont mis en évidence le raïdissement considérable du front de l'onde au cours de sa propagation, prévu par la théorie.

Deuxième méthode. — Mesure de la vitesse de propagation des grandes condensations. — Cette série d'expériences a été effectuée dans un tube de 4 mètres de longueur et de 22 millimètres de diamètre, donnant un parcours utile de $3^{m},864$.

Les condensations étaient produites par des charges progressivement croissantes d'explosifs (*poudre de chasse extra-fine* et *fulminate de mercure*), disposés sous forme de cartouches cylindriques en papier, placées au voisinage de l'une des extrémités du tube.

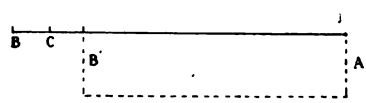


Fig. 2.

On enregistrait sur les cylindres tournants le premier déplacement de pistons, du poids de $10^{gr},5$ en aluminium, ou de 52 grammes en acier, se mouvant, suivant l'axe du tube, dans les bouchons en acier fermant les deux extrémités.

L'intervalle de temps qui sépare le premier déplacement des deux pistons correspond à la durée de parcours de la condensation, depuis un point B', symétrique de l'extrémité B, par rapport au centre de la charge voisine C, jusqu'à l'extrémité opposée A.

Le tableau suivant donne les vitesses de propagation observées dans treize expériences.

Tube de 4 mètres : capacité intérieure, $1^{lit},500$.

Charge.	Pression moyenne par cent. carré.	Surpression au côté mise de feu.	Vitesse de propagation.	Poids des pistons.
		Poudre de chasse extra-fine.		
gr	kg	kg	m	
0,24	0,5	»	336,8	10gr,5 aluminium
0,95	2	»	333,2	»
3,80	8	»	500,0	»
15,20	33	≦ 166	848,0	52gr,0 acier
17,40	39	219	931,1	»
45,60	100	1.272	1.268,0 1.013,0	»
		Fulminate de mercure.		
0,010	»	»	359,8	10gr,5 aluminium
0,040	0,125	0,383	403,8 396,5	»
0,160	0,5	»	550,1	»
0,630	2	20	591,0	»
2,520	8	»	762	52gr,0 acier
10,070	33	1.306	1.138	»

Ces nombres montrent que, à mesure que les condensations initiales s'accroissent, les vitesses moyennes de propagation, sur un parcours de 4 mètres environ, s'élèvent de la valeur de la vitesse du son à des valeurs quadruples, bien que les condensations produites à l'origine des mouvements restent fort inférieures à celles qui correspondent à l'emploi balistique des explosifs.

Ces vitesses sont d'ailleurs des limites inférieures des vitesses de propagation des discontinuités, puisque les durées observées comprennent une période antérieure à la formation de la discontinuité, dans laquelle l'onde se meut avec la vitesse normale du son.

La lecture micrométrique des tracés inscrits par les pistons sur des cylindres tournants permet de déterminer la loi d'attaque du piston par le front de l'onde et de reconnaître qu'aux faibles vitesses de propagation observées correspondent des ondes à loi de pressions croissantes encore raccordées avec le milieu, tandis qu'aux grandes vitesses de propagation correspond une loi d'attaque brusque avec loi de pressions instantanément décroissantes.

III. — Production artificielle des discontinuités.

On arrive à faire coïncider sensiblement la discontinuité avec le front même de l'onde condensée initiale en interposant, entre le milieu en repos et la source de condensation, une enveloppe de masse aussi faible que possible, susceptible de se rompre sous une pression notable.

Avec les explosifs à combustion rapide du genre du fulminate de mercure, il suffit d'enfermer la charge dans de petits cylindres formés de papier enroulé et collé, fermés par des tampons de bois solidement sertis par une ligature métallique. Le cylindre occupe sensiblement toute la section du tube; il est pulvérisé par l'explosion.

Ce dispositif est efficace, malgré la faible résistance de l'enveloppe, parce que la vitesse de combustion des explosifs est une fonction rapidement croissante de la pression; il suffit donc d'éliminer la période de long feu initial qui s'opère sous des pressions très faibles pour obtenir une onde condensée symétrique, dont le front est presque vertical.

Vitesse de propagation d'une discontinuité dans l'air à la pression normale créée par une amorce au fulminate de $0^{gr},63$. — *Loi de variation des vitesses avec la longueur du parcours.*

Les expériences suivantes ont été effectuées dans un tube de 22 millimètres de diamètre, à l'aide de petites amorces renfermant $0^{gr},63$ de fulminate de mercure; elles ont eu pour but de rechercher la vitesse de propagation d'une discontinuité et la loi d'atténuation de cette vitesse avec le parcours effectué par l'onde. L'enregistrement des vitesses était obtenu par le déplacement de pistons placés à chaque extrémité du tube, suivant la disposition précédemment décrite.

Dans une première série d'expériences, la longueur du tube a varié par l'emploi de tronçons rectilignes successifs entre les valeurs suivantes, qui représentent la différence des distances de l'amorce aux deux fonds, savoir :

$0^{m},326$, $0^{m},532$, $1^{m},131$, $2^{m},359$, $3^{m},864$.

Dans une deuxième série d'essais comportant l'emploi de tubes

cintrés, les longueurs ont pu être portées à 16 mètres et 32 mètres. Pour chaque longueur de tube, on a effectué de dix à quinze déterminations de vitesses en modifiant les organes enregistreurs par l'emploi de pistons légers (15 grammes) ou lourds (52 grammes), libres ou soumis à l'action de ressorts antagonistes.

Le détail de ces déterminations ne saurait être exposé dans cette étude; nous donnerons seulement les conclusions auxquelles conduit la discussion de ces essais dont le nombre a dépassé soixante-quinze.

1° *Loi de décroissement des vitesses.* — Le tableau suivant résume les durées moyennes de parcours de l'onde dans les divers intervalles avec les vitesses de propagation correspondantes.

Parcours.	Durée de parcours.	Vitesse dans chaque intervalle.
m	ms	
0,326	0,304	1.073
0,532	0,507	1.015
1,131	1,125	969
2,359	2,620	821
3,864	5,239	575

On voit qu'une amorce explosive infime est susceptible d'engendrer une onde se propageant dès les premiers instants avec des vitesses supérieures à 1.000 mètres. Ces vitesses décroissent rapidement avec la distance; mais elles sont encore supérieures de 200 mètres à la vitesse du son, après un parcours de 4 mètres environ.

2° *Forme de l'onde.* — Les tracés recueillis dans le déplacement libre des pistons donnent quelques indications sur la forme de l'onde initiale et sur les modifications qu'elle subit au cours de sa propagation. Du côté de la mise de feu, comme du côté opposé, les pressions qui attaquent les pistons sont instantanément décroissantes; mais cette décroissance est beaucoup plus rapide au voisinage immédiat de l'amorce qu'à grande distance de cette amorce. C'est dans l'éprouvette de 4 mètres que les observations présentent le plus de netteté, parce que le déplacement du piston sous l'influence de l'onde initiale n'est pas perturbé par l'onde de retour qui, avec une éprouvette de cette longueur, ne survient qu'après une durée notable supérieure à 10 millièmes de seconde.

Ces tracés (n°s 2079, 2089, 2098) montrent que, du côté de l'amorce, la décroissance des pressions, à la suite de la percussion de l'explo-

sion, est tellement rapide que le tracé est *rectiligne*, les pressions devenant négligeables après des durées de l'ordre de $\frac{3}{10.000}$ de seconde.

Du côté opposé à la charge, les tracés indiquent bien encore des pressions immédiatement décroissantes caractérisant la brusquerie de l'attaque ; mais ces pressions, beaucoup plus faibles qu'au voisinage de l'amorce, sont relativement soutenues et accusent un étalement progressif de l'onde à l'arrière de la discontinuité.

Ce mode de déformation paraît la conséquence nécessaire de la différence des vitesses de propagation de la discontinuité de tête, d'une part, qui se meut avec des vitesses de 700 mètres à 1.000 mètres, et, d'autre part, des faibles condensations de queue correspondant à la fin du phénomène de déflagration, qui doivent se propager avec des vitesses voisines de la vitesse normale de propagation du son. L'onde, dans son ensemble, subira donc une sorte d'étirement ou de dilatation *a retro*, d'où résultera l'atténuation rapide de la condensation du front.

3° *Pressions maxima au voisinage des extrémités du tube.* — On a cherché à définir d'une façon précise la condensation initiale dont la vitesse de propagation et les transformations successives viennent d'être étudiées.

Les appareils à écrasement de cylindres métalliques dits *crushers* présentent, pour ce genre de mesure, des avantages spéciaux, qui tiennent à l'extrême rapidité de leur fonctionnement. On obtient les valeurs suivantes pour les pressions évaluées dans les diverses éprouvettes :

Nature de l'éprouvette.	Côté de l'amorce.	Côté opposé.
$4^{m},00$	$95^{kg},2$	$8^{kg},0$
2 ,50	103 ,0	20 ,9
1 ,27	108 ,6	37 ,10

La pression de 100 kilogrammes, sur le fond contigu à l'amorce distant de 55 millimètres, est supérieure d'un quart environ à celle que la charge de fulminate de $0^{gr},63$ produirait dans une capacité close formée d'un tube de 110 millimètres de longueur (capacité, 42 centimètres cubes).

4° Les grandes vitesses de propagation sont corrélatives de vitesses propres considérables communiquées aux tranches gazeuses, et les

forces vives correspondantes s'amortissent au voisinage des parois fixes dans un travail de compression qui élève la pression, au contact de ces parois, à des valeurs quatre à cinq fois supérieures à la pression moyenne qui résulterait de l'égale répartition de la masse gazeuse dans l'éprouvette.

IV. — Discontinuité symétrique créée par l'amorce au fulminate de $0^{gr},63$.

Influence de la densité et de la pression du milieu sur la vitesse de propagation.

Les expériences qui font l'objet du présent chapitre concernent l'influence que des modifications dans le milieu en repos exercent sur la vitesse de propagation d'une onde condensée produite, dans tous les cas, par le même mode d'excitation, l'amorce au fulminate de $0^{gr},63$.

Le milieu peut être modifié de plusieurs manières en agissant soit sur la nature du gaz, soit sur sa pression. Dans le cas de condensations infiniment petites et pour des gaz auxquels les lois de Mariotte et de Gay-Lussac sont applicables, la vitesse de propagation n'est influencée que par la nature du gaz ; elle est inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité ; la pression est sans influence, comme l'indique l'expression :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{mp_0}{\rho_0}},$$

parce que la pression du milieu varie proportionnellement à la densité à une même température et que leur rapport reste constant.

Nous allons voir qu'il en est tout autrement dans le cas de la propagation par discontinuités intenses.

Les essais ont porté sur l'air, l'acide carbonique et l'hydrogène. Les pressions ont varié depuis des valeurs très faibles, de l'ordre de quelques centimètres de mercure, jusqu'à des valeurs de 20 à 40 atmosphères.

Dispositions spéciales des expériences.

Ces expériences ont présenté de sérieuses difficultés, parce qu'il n'est point facile d'obtenir à la fois la sensibilité des organes enre-

gistreurs et leur étanchéité, sous des pressions très faibles et très élevées. Les dispositions utilisées pour ces premiers essais pourront être perfectionnées : elles nous paraissent toutefois susceptibles de mettre en lumière, sans doute possible, l'allure générale des phénomènes.

Tous les essais ont été effectués avec l'éprouvette de $1^m,27$ ($1^m,131$ de parcours utile) et suivant le mode d'enregistrement, précédemment décrit, par pistons placés aux extrémités du tube.

Sous les pressions initiales élevées, les pistons enregistreurs ne pouvaient être maintenus libres. On a fait usage, pour les contrebuter, de petits cylindres de cuivre de $1^{mm},6$ de diamètre et de $2^{mm},60$ de hauteur, qui fournissent un écrasement de $\frac{1}{100}$ de millimètre par kilogramme sous des pressions supérieures à 10 kilogrammes environ, ou de cylindres de dimensions moitié moindre et de sensibilité double.

Les signaux recueillis par écrasement subit au moment de l'arrivée de l'onde ont été généralement très nets. Nous avons vu, en effet, que la pression s'élève à 37 kilogrammes à l'extrémité de l'éprouvette de $1^m,27$, opposée à l'amorce de $0^{gr},63$ de fulminate, dans le cas où le milieu est de l'air à la pression atmosphérique, et cette pression s'accroît encore dans les milieux condensés.

L'étanchéité des pistons était obtenue par la vaseline ou le suif pour les pressions élevées.

On s'est assuré par des expériences comparatives sous la pression atmosphérique que les vitesses enregistrées n'étaient pas influencées par ce mode de contrebutée et d'enrobage des pistons.

Le tableau suivant rapproche des vitesses normales du son dans l'air, l'hydrogène et l'acide carbonique, les vitesses de propagation obtenues par l'amorce de $0^{gr},63$ sous la pression atmosphérique et sous des pressions de 22 à 24 kilogrammes par centimètre carré.

On a écarté, dans ce résumé, les valeurs observées sous des pressions inférieures à la pression atmosphérique, qui ne paraissent à l'abri de toute critique que pour l'air, les rentrées de gaz par les joints au cours des opérations n'altérant pas, pour ce gaz, la composition du milieu.

		Hydrogène.	Air.	Acide carbonique.
Vitesse du son		1.319^m	340^m	281^m
Vitesse de propagation par l'amorce de $0^{gr},63$	Pression atmosphérique.	2.104^m	1.041^m	814^m
	Pression de 22, 24 kilog.	1.555	576	363

Deux conclusions principales se dégagent de la comparaison de ces trois séries d'expériences.

1° Sous une même pression, la loi des densités relatives aux vitesses de propagation du son n'est qu'approximativement conservée et son influence paraît atténuée. Néanmoins, les variations de vitesse considérables introduites par le milieu suffiraient à confirmer que le phénomène étudié est bien un phénomène de propagation et non pas seulement un phénomène d'écoulement de la masse gazeuse explosive, dans lequel le rôle du milieu serait secondaire;

2° En deuxième lieu, l'influence de la pression, nulle dans le cas de la propagation du son, est très importante dans la propagation par discontinuité. L'accroissement de la pression abaisse la vitesse de propagation qui se trouve ramenée de valeurs deux à trois fois supérieures à la vitesse du son sous la pression atmosphérique, à des valeurs voisines de cette vitesse sous la pression de 22 à 24 kilogrammes.

L'expression de la vitesse de propagation d'une discontinuité permet de se rendre compte de l'influence variable de la densité et de la pression.

On a vu, en effet, que cette vitesse est donnée par l'expression :

$$V = \sqrt{\frac{mP}{\rho} \frac{1}{1 + \frac{m+1}{2} z_1}},$$

et qu'elle dépend, par suite, du degré de discontinuité mesuré par la dilatation z_1 créée sur le front de l'onde.

Influence de la pression. — Lorsque la pression du milieu P est modifiée, le facteur $\frac{mP}{\rho}$ n'est pas altéré; mais il n'en est pas de même de z_1, et il paraît évident qu'un même mode d'excitation résultant de la déflagration d'une même amorce déterminera des condensations d'autant plus faibles que la condensation préalable du milieu sera plus grande. La condensation — z_1 diminuera donc avec la pression, et il en sera de même de la vitesse de propagation.

Influence de la densité. — L'influence atténuée de la densité s'explique par le jeu du même facteur. Les tracés recueillis dans les expériences faites sur l'hydrogène montrent, en effet, que les pressions d'attaque des pistons sont croissantes, ce qui semble indiquer que la discontinuité, qui assure cependant des vitesses de propaga-

tion de 2000 mètres, n'est pas celle qui correspondrait à l'arrivée de la condensation maximum au front de l'onde.

Le rapport des vitesses de propagation est donc le rapport inverse des densités, multiplié par un facteur plus petit que 1 :

$$\frac{V_H}{V_{air}} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_H} \frac{2 + (m+1) z_{air}}{2 + (m+1) z_H}}, \quad z_H \text{ négatif} < \text{en valeur absolue que } z_{air}.$$

Cette atténuation de la condensation de discontinuité pour des densités du milieu décroissantes n'est pas spéciale au mode d'excitation par l'amorce explosive au fulminate de $0^{gr},63$, qui a été utilisé dans tous les essais dont il vient d'être parlé. Les résultats obtenus au moyen de l'excitation par rupture d'ampoules en verre sous l'influence de gaz comprimés, de même nature que celle du milieu conduisent à la même conclusion.

V. — Discontinuités produites par la détente brusque de gaz comprimés.

La méthode d'enregistrement des vitesses de propagation, utilisée dans les expériences relatées plus haut, est fondée sur l'inscription simultanée sur un même cylindre tournant des déplacements de pistons légers placés aux extrémités d'un tube fermé, le phénomène excitateur étant produit au voisinage de l'une des extrémités.

Cette méthode, qui suppose l'onde initiale symétrique, se prête mal à l'emploi d'un mode d'excitation autre que celui des explosifs. Toutefois les gaz comprimés dans des ampoules en verre sphériques du diamètre du tube peuvent être substitués aux explosifs ; mais cette disposition présente l'inconvénient de ne mettre en jeu que des masses gazeuses très faibles et, par suite, des condensations dont le coefficient d'affaiblissement est énorme. Aussi les vitesses de propagation observées, bien que très supérieures à la vitesse du son, restent-elles relativement faibles.

On peut, au contraire, en partageant un tube en deux parties par un diaphragme dont on provoque la rupture par compression lente du gaz dans l'un des segments, donner à la masse excitatrice une valeur quelconque. Mais en même temps le phénomène cesse d'être symétrique, et les mesures de vitesse de propagation exigent l'enregistrement latéral d'un même côté du diaphragme. L'enregistrement a

été obtenu par des pistons légers, normaux à l'axe du tube et affleurant par leur base sa paroi interne. Ces pistons sont contrebutés par des ressorts dont la déformation s'inscrit parallèlement à l'axe du tube et permet d'obtenir la loi des pressions en fonction du temps.

On obtient des diaphragmes de faible masse et de grande résistance en utilisant des lames de collodion. J'ai étudié comment les vitesses de propagation dans l'air variaient avec la pression de rupture et quelle était la loi d'amortissement des vitesses.

On trouvera le détail de ces expériences, au nombre de trente-trois, dans un autre travail (*Mémorial des Poudres*, 1900) ; nous ne mentionnerons ici que les conclusions auxquelles ces expériences conduisent.

1° La détente, dans un tube de 22 millimètres de diamètre, d'une faible masse d'air comprimé (100 centimètres cubes) à 27 atmosphères, suffit à assurer dans l'air, sous la pression atmosphérique, des vitesses de propagation supérieures à 600 mètres, et ces vitesses se soutiennent sur plusieurs mètres de parcours avec le même ordre de grandeur, la décroissance de la vitesse étant de 20 mètres environ par mètre de parcours dans les limites observées. Les explosifs ne jouent donc aucun rôle essentiel dans les phénomènes de propagation à grande vitesse ;

2° Un fait fondamental, mis en évidence par ces mesures, c'est que les vitesses de 600 mètres dans l'air se trouvent entretenues par une nappe gazeuse présentant une différence de pression de 3 kilogrammes environ avec le milieu non perturbé.

L'examen des tracés obtenus pour les mêmes vitesses de propagation dans des conditions d'expériences très différentes résultant de l'emploi de réservoirs comprimés de capacités décuples les unes des autres conduit à la même conclusion. Il y a donc lieu de considérer la discontinuité de pression de l'ordre de 3 kilogrammes comme assurant la vitesse de propagation de 600 mètres, et de rechercher si ces valeurs sont compatibles avec les formules théoriques.

J'ai donné, chapitre I, l'expression de la vitesse de propagation en fonction de la pression $P_1 - P_0$ de discontinuité :

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho_0}\frac{P_0}{2}\left[2m + (m+1)\frac{P_1 - P_0}{P_0}\right]}.$$

Si on admet la valeur $m = 1{,}40$ pour le rapport des chaleurs

spécifiques de l'air, on obtient pour les valeurs $P_1 = 38000$ et $P_0 = 10333$, qui correspondent aux mesures les plus précises effectuées sur les valeurs des pressions (tracé 2347), la vitesse théorique de propagation de 600 mètres, qui diffère à peine de la valeur de $601^m,8$, obtenue dans l'expérience elle-même, ou de la moyenne $608^m,9$, observée dans des essais analogues effectués sans mesure des pressions.

Nous trouvons donc, dans le seul cas où les pressions de discontinuité aient été évaluées jusqu'ici, une concordance complète entre la théorie et les données de l'expérience.

VI. — Applications diverses de la théorie des discontinuités.

La notion des discontinuités apporte quelques éclaircissements à la théorie de plusieurs phénomènes physiques assez obscurs.

I. — *Loi de la résistance de l'air au mouvement des projectiles.*

Les expériences de Mach et de Boys ont montré qu'un projectile, se mouvant dans l'air à grande vitesse, détermine une perturbation brusque du milieu qui accompagne le projectile sous forme d'une ride ABCD formant une surface de révolution autour de son axe et dont la section méridienne se compose de deux droites symétriques, AB, CD, et d'une courbe de raccordement BEC.

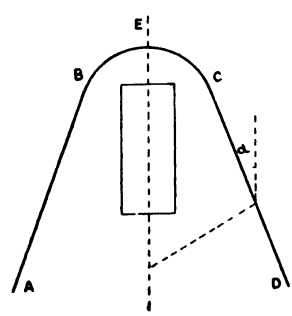


Fig. 3.

La vitesse de propagation normale de cette onde est évidemment variable en chaque point et égale à V sin α, en désignant par α l'angle

de l'axe et de la tangente à la section méridienne au point considéré.

L'expérience montre que la vitesse des rides rectilignes AB, CD est égale à la vitesse normale du son, et c'est sur cette vérification qu'est fondé un mode élégant de mesure acoustique des vitesses des projectiles.

Mais il est évident que, en E où $\sin \alpha = 1$, la vitesse de propagation est égale à la vitesse du projectile.

Or cette vitesse atteint, avec les projectiles modernes, des valeurs considérables, telles que 800, 1000 et 1200 mètres.

Un pareil phénomène ne peut être entretenu que par la formation d'une discontinuité dont la vitesse de propagation soit précisément égale à celle du projectile.

Il semble que, pour les gros projectiles de rupture de la Marine, dont la surface antérieure est sensiblement plane, la surface de l'onde BEC est assez surbaissée pour que le fonctionnement, dans la région centrale en face de la tête du projectile, soit assimilable à la propagation d'une onde plane, le rôle du projectile se réduisant à entretenir une discontinuité constante, malgré les déperditions latérales.

J'ai cherché à comparer les valeurs des résistances de l'air obtenues expérimentalement pour ces grandes vitesses aux valeurs que la théorie assigne aux discontinuités assurant les mêmes vitesses de propagation.

Les vitesses théoriques de propagation sont données, ainsi qu'il a été établi plus haut, par la formule :

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \frac{P_0}{2} \left[2m + (m+1) \frac{P_1 - P_0}{P_0} \right]},$$

où ρ_0 est la masse de l'unité de volume du milieu en repos, et $m = 1{,}40$, le rapport des chaleurs spécifiques.

La résistance que l'air oppose aux mouvements des projectiles se déduit de tirs balistiques aux vitesses restantes, et les données expérimentales s'étendent aujourd'hui des vitesses les plus faibles jusqu'aux vitesses de 1100 à 1200 mètres.

Les projectiles cylindriques ont donné lieu, notamment à Gavre, à 138 tirs, qui ont fait l'objet d'une compensation très soignée de la part du capitaine Gibert.

Il a montré que la fonction $\varphi(V)$ de la vitesse à laquelle est pro-

portionnelle la résistance est telle que sa racine carrée est une fonction linéaire de la vitesse, de telle sorte que le diagramme obtenu, en portant en ordonnées les valeurs de $\sqrt{2\varphi(V)}$ et en abscisses les valeurs de V pour les 138 tirs signalés plus haut, détermine, entre les limites de 350 et de 1100 mètres, une droite dont tous les points d'expériences ne s'écartent que de quantités visiblement accidentelles.

Cette compensation, faite en dehors de toute préoccupation théorique, m'a paru la plus convenable pour évaluer les pressions par centimètre carré, exercées sur les projectiles cylindriques pour des vitesses comprises entre 400 et 1200 mètres.

Ces pressions représentent la différence entre la surpression appliquée à la face antérieure plane du projectile et la dépression qui se produit au culot.

Le tableau suivant rapproche les résistances observées des surpressions théoriques:

Vitesse des projectiles cylindriques.	Résistance en kilogrammes par centimètre carré observée.	Surpression théorique assurant la vitesse de propagation égale à celle du projectile.	Différence.
	kg.		
400	1,25	1,58	0,33
600	3,26	3,78	0,52
800	6,23	6,85	0,62
1.000	10,15	10,81	0,66
1.200	15,01	15,64	0,63

Si l'on tient compte de la dépression à l'arrière du projectile, qui est d'autant plus grande que la vitesse est plus forte, on est conduit à considérer comme identiques les pressions appliquées à l'avant d'un projectile plan en mouvement et les valeurs que la théorie assigne à la discontinuité susceptible de se propager avec la même vitesse.

Il importe de remarquer que cette coïncidence est liée à l'expression de la loi adiabatique dynamique et que la loi statique eût conduit à des valeurs notablement supérieures aux valeurs expérimentales. Ainsi la vitesse de 1200 mètres exigerait une surpression de $17^{kg},24$, supérieure de $2^{kg},2$ à la résistance observée.

Il est vraisemblable que la formule s'applique à des vitesses beaucoup plus considérables que la limite qui s'est trouvée fortuitement atteinte dans les vérifications expérimentales d'ordre balistique, et

l'on peut lui demander quelques indications sur le fonctionnement de projectiles se mouvant avec des vitesses planétaires de quelques kilomètres à la seconde.

Le tableau suivant donne les valeurs des pressions et des températures correspondant à ces vitesses, d'après la formule :

Vitesse du projectile.	Pressions.	Températures.
	kg	degrés
1.200	15,61	680
2.000	43,8	1.741
4.000	175,6	7.751
10.000	1.098,00	48.490

Sans attribuer à ces nombres une valeur absolue, on peut penser que l'incandescence des bolides, les érosions de leur surface et les ruptures qui accompagnent leur passage dans notre atmosphère sont explicables par les valeurs des pressions et des températures que fait prévoir la loi de propagation des discontinuités, même en tenant compte de la raréfaction du milieu traversé.

II. — *Propagation des phénomènes explosifs.*

Les réactions chimiques se propagent suivant deux modes distincts. Le premier constitue la combustion simple qui s'opère par la conductibilité avec des vitesses de propagation ordinairement très faibles. Le deuxième mode est le régime de détonation ou de propagation par onde explosive, dans lequel la réaction se propage généralement avec des vitesses considérables, atteignant plusieurs milliers de mètres par seconde.

Les conditions relativement simples de la détonation des mélanges gazeux explosifs sont aujourd'hui bien connues, à la suite des recherches qui ont été effectuées par MM. Berthelot et Vieille et MM. Mallard et Le Chatelier.

On sait que la réaction se propage sur une onde à vitesse constante, qui est le siège d'une modification physique et chimique. Sa vitesse peut atteindre 5 à 6 fois la vitesse normale du son dans le milieu. C'est ainsi que, pour le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, la vitesse de propagation est de 2800 mètres, la vitesse du son dans le mélange étant de 500 mètres environ. Ce point fondamental résulte de nombreuses déterminations; on a rapproché, dans le tableau suivant, les vitesses de détonation observées sur divers mélanges explosifs des vitesses de propagation du son dans le milieu primitif.

Nature du mélange.	Vitesse observée.	Vitesse du son dans le milieu.	Rapport.
	m	m	
Hydrogène $H^2 + O^2$.....	2.810	514	5,5
Oxyde de carbone $C^2O^2 + O^2$.	1.089	328	3,3
Acétylène $C^4H^2 + O^{10}$.....	2.482	323	7,7
Ethylène $C^4H^4 + O^{12}$.....	2.209	320	6,9
Méthyle $C^4H^6 + O^{14}$.....	2.363	317	7,5
Formène $C^2H^4 + O^8$.....	2.287	345	6,6
Cyanogène $C^4Az^2 + O^8$.....	2.195	286	7,6

Si les phénomènes de détonation sont bien connus, leur mécanisme intime reste pourtant obscur, et les divers systèmes actuellement en présence ne semblent pas susceptibles de rendre compte des grandes vitesses de propagation observées, si l'on n'y joint pas la notion d'une discontinuité entretenue à l'*état de régime* par la réaction chimique qui l'accompagne.

Un premier système d'interprétation consiste à scinder, pour ainsi dire, le phénomène de détonation en deux parties ; la réaction est considérée comme produite par une élévation de température préalable due au phénomène purement physique de compression adiabatique du milieu considéré comme inerte. Le phénomène chimique est, dans cette hypothèse, consécutif à la compression et peut même comporter un certain retard par rapport au passage de l'onde mécanique; il n'intervient pas, en tout cas, pour modifier la constitution du milieu dans lequel se propage l'onde mécanique, et son rôle se borne à entretenir la valeur élevée de la condensation propagée par l'onde.

Dans cette hypothèse, la vitesse de propagation est donc la vitesse de propagation dans le milieu inerte. Or cette vitesse ne peut être que la vitesse normale du son, tant qu'une discontinuité n'a pas envahi le front de l'onde. A ce moment seulement une élasticité nouvelle intervient, d'autant plus élevée que la discontinuité des pressions qui s'établit sur le front de l'onde est plus considérable. On trouve, par exemple par application de la loi dynamique d'Hugoniot, qu'une discontinuité d'une quarantaine d'atmosphères serait suffisante pour assurer la vitesse de propagation de 2800 mètres observée sur le mélange tonnant d'oxygène et d'hydrogène. La réaction décuplant sensiblement la pression initiale, il suffit que l'étincelle ou l'amorce initiale ait porté le mélange tonnant à une pression de 4 kilogrammes avant la réaction pour que le phénomène s'amorce d'emblée. A défaut de ce mode d'excitation, les oscillations de la colonne

gazeuse pourront, comme l'ont montré MM. Mallard et Le Chatelier, entraîner des condensations susceptibles de donner naissance, après une période d'état variable, à la discontinuité capable d'assurer les grandes vitesses de la propagation.

La notion de discontinuité permet donc de rattacher à des lois de propagations, vérifiées en milieu inerte, le mécanisme dynamique de la détonation tel qu'il a été proposé par M. Berthelot, pour tous les milieux explosifs.

Un deuxième système d'interprétation du mécanisme de détonation a été proposé par M. Duhem.

Nous avons vu que, dans l'hypothèse de la continuité, l'élasticité du milieu considéré comme inerte ne permet pas d'expliquer des vitesses de propagation d'un ébranlement supérieur à celle du son; mais, si l'on considère le milieu comme en état d'*équilibre* chimique, l'équation caractéristique de ce milieu ne dépend plus seulement de deux variables indépendantes, température et volume, mais encore de la fraction de combinaison du mélange qui assure l'équilibre chimique du système dans chacune de ces transformations. On conçoit donc que l'élasticité de ce milieu, en transformation simultanée physique et chimique, puisse être différente de l'élasticité du même milieu considéré comme inerte, que cette élasticité puisse se trouver surélevée si, par exemple, la réaction est exothermique sans variation de volume et que cette élasticité soit, au contraire, réduite si la réaction est endothermique.

Dans un milieu en équilibre chimique, la vitesse de propagation, qui est proportionnelle à la racine carrée de cette élasticité peut donc, même dans l'hypothèse de la continuité du milieu, être différente de la vitesse normale du son.

Mais il convient d'insister sur ce point que cette théorie suppose qu'à une variation infiniment petite des variables physiques v et t, qui caractérisent le milieu, correspond une variation du taux de combinaison du mélange. Il est possible que ces conditions soient remplies dans certains milieux chimiques; mais elles sont certainement bien loin d'être réalisées pour les mélanges gazeux détonants les mieux connus, auxquels s'appliquent les grandes vitesses signalées plus haut.

Ces mélanges peuvent, en effet, supporter des compressions considérables, des élévations de température de plusieurs centaines de degrés sans que la variable chimique intervienne; il est donc néces-

saire de concevoir une phase préparatoire dans laquelle le milieu fonctionne comme inerte jusqu'au moment où il atteint, par une modification finie des variables physiques, la limite des faux équilibres. La réaction chimique ne peut aller plus vite que ce phénomène préparatoire; or, tant qu'il y aura continuité, cette modification des variables physiques ne peut faire naître une élasticité et une vitesse de propagation différentes de celles qui correspondent à la propagation du son.

On est donc encore, par cette théorie des phénomènes, amené à supposer la création d'une discontinuité. Cette discontinuité ne mettra pas en jeu, toutefois, l'élasticité adiabatique dynamique d'Hugoniot relative aux milieux considérés, comme inertes, mais l'élasticité complexe résultant de l'introduction, à partir d'une certaine valeur du volume et de la température, de la variable chimique caractérisant la fraction de combinaison.

Sur la réalisation des résultats de la théorie générale des petits mouvements par l'emploi de mouvements électriques périodiques : système de télégraphie multiple réversible ou multiplex ;

Par M. E. Mercadier [1].

I

Le système de télégraphie électrique qui va être décrit a été conçu tout d'abord comme une application possible de la théorie des petits mouvements à des courants électriques périodiques ; il a été successivement amélioré et finalement réalisé en se reportant toujours à cette théorie ; c'est pourquoi il est nécessaire d'en rappeler en quelques lignes les résultats.

On appelle *petits mouvements*, en mécanique, les mouvements d'un système de points matériels soumis à l'action de forces extérieures et intérieures, ou seulement intérieures, satisfaisant à deux hypothèses : 1° les forces admettent un potentiel, dont la valeur est minimum pour une position particulière du système et correspond à un état d'équilibre stable ; 2° les déplacements des points du système autour de leur position d'équilibre sont assez petits pour que l'on

---

[1] Séance du 4 Mai 1900.

puisse négliger dans leur expression les termes infiniment petits d'un ordre supérieur au second.

Il résulte de ces deux hypothèses que les équations différentielles des mouvements du système sont du second ordre, linéaires, et à coefficients constants, et leur intégration s'effectue facilement.

De la forme des équations différentielles et des intégrales se déduisent un certain nombre de propriétés, qui peuvent être exprimées et condensées de la façon suivante :

« Le mouvement général du système peut être considéré comme « résultant de mouvements simples et distincts autour de la position « d'équilibre stable, nécessairement périodiques ; ces mouvements « sont indépendants les uns des autres et ne font que se superposer « pour former le mouvement général d'ensemble périodique, dans « lequel la force vive et le potentiel, ainsi que leur somme, qui est « constante, sont égaux à la somme des forces vives et des poten- « tiels de chacun des mouvements particuliers ; de telle sorte que, « dans leurs effets dynamiques, les mouvements simples restent « entièrement indépendants les uns des autres.

« Si le système n'est soumis qu'à des forces intérieures, on n'a « qu'à remplacer dans l'énoncé ci-dessus le mot potentiel par énergie « potentielle, la force vive par l'énergie cinétique et la somme des « deux par l'énergie totale. »

Cet énoncé des résultats de la théorie des petits mouvements étant admis, on peut remarquer que si, inversement en quelque sorte, on peut produire dans un même milieu plusieurs mouvements périodiques, distincts et très petits, satisfaisant ainsi à la seconde des hypothèses générales indiquées ci-dessus, si l'on peut les superposer en produisant un mouvement général périodique, on pourra aussi admettre que la première hypothèse se trouve également réalisée, et que le système ainsi mis en mouvement doit être régi par la *loi des petits mouvements*.

Considérons, à ce point de vue, des mouvements électriques.

Ce qu'on nomme courant électrique est constitué par un certain mouvement de masses matérielles produisant de la force vive ou énergie, car il en résulte dans un conducteur des effets calorifiques réglés par la loi de Joule, et même cette énergie peut être tout entière transformée en énergie calorifique équivalant à de l'énergie mécanique.

Au lieu de courants continus considérons des courants périodiques,

c'est-à-dire dont l'intensité et la force électromotrice varient périodiquement, comme varient les éléments (déplacements et vitesses) de points en mouvements vibratoires ; ces courants produisent des effets dynamiques : cinétiques, dans des électrodynamomètres ; calorifiques, dans des lampes à incandescence, par exemple ; acoustiques, dans les téléphones, etc. On peut donc les considérer comme des mouvements périodiques de masses matérielles, et se demander s'ils sont analogues à ceux des systèmes régis par la loi des petits mouvements, et s'ils jouissent des mêmes propriétés.

Des expériences simples et précises montrent qu'il en est ainsi : elles consistent à réaliser les conditions et effets suivants :

I. — Produire des mouvements ou courants électriques périodiques, de périodes ou nombre de vibrations fixes et aisément appréciables ;

II. — Réunir dans un même milieu conducteur simultanément plusieurs courants de ce genre ;

III. — Constater s'il en résulte un mouvement général périodique, dans lequel les mouvements périodiques particuliers ne sont que superposés et restent indépendants les uns des autres ;

IV. — Communiquer l'énergie des mouvements périodiques à un système matériel et voir si l'énergie du mouvement général est équivalente à la somme des énergies des mouvements simples ;

V. — Pour vérifier si la propriété capitale des mouvements vibratoires s'applique aux mouvements électriques périodiques, voir si l'on peut faire varier la phase de ces mouvements ou les décaler, sans altérer la période, et, par suite, les faire interférer ;

VI. — Enfin, constater si dans le mouvement général les mouvements simples peuvent se produire dans tous les sens, se croiser, par exemple, dans un conducteur, sans difficultés.

Le système de télégraphie électrique multiplex qui va être décrit satisfait précisément à toutes les conditions qu'on vient d'énoncer ; on le fera ressortir principalement dans les remarques intercalées dans la description (p. 96, 98, 102, 103).

II

PRINCIPES DE LA TÉLÉGRAPHIE MULTIPLE RÉVERSIBLE OU MULTIPLEX

La télégraphie multiple est l'art de transmettre rapidement sur un même circuit plusieurs signaux émis par plusieurs appareils.

Cette transmission peut être faite de deux façons générales.

1° Ou bien il s'agit de transmettre plusieurs signaux dans un seul sens entre deux postes, ces signaux ne pouvant pas *se croiser simultanément*, à chaque instant, en chaque point du circuit ; on peut alors l'appeler transmission *multiple non réversible*, ou simplement *multiple*.

D'ailleurs elle peut être *successive* ou *simultanée : successive*, lorsque, en chaque point du circuit, les signaux *se succèdent* plus ou moins rapidement : c'est ce qui arrive, par exemple, dans les systèmes de télégraphie double de M. Sieur, multiple de Meyer, de Delany, de M. Baudot... ; *simultanée*, lorsque, en chaque point du circuit, les signaux passent *simultanément* à chaque instant et sans confusion, comme, par exemple, dans le multiple harmonique de E. Gray et dans la téléphonie ordinaire ; car, lorsqu'on téléphone une simple voyelle, on émet *à la fois* sur le circuit le son fondamental et les harmoniques qui caractérisent le timbre ;

2° Ou bien il s'agit de transmettre plusieurs signaux *simultanément, dans les deux sens à la fois*, de façon qu'en chaque point du circuit, et à chaque instant, plusieurs signaux puissent *se croiser* sans altération ni confusion ; on peut alors appeler ce mode de transmission : transmission *multiple réversible*.

Tels sont :

a) Le système de télégraphie *simple réversible* appelé ordinairement *duplex :* par exemple, le système Morse dit *duplex*, qui permet la transmission réversible de deux signaux, à l'aide d'un pont de Wheatstone ou d'un électro-aimant différentiel ;

b) Le système de télégraphie *double réversible :* par exemple, le système double de M. Sieur, duplexé, ou le système dit *quadruplex* de M. Edison..., qui permettent la transmission réversible de quatre signaux ;

c) Enfin, le système de télégraphie *multiple réversible*, ou *multiplex*, qui permet la transmission réversible de n signaux, n pouvant être à volonté égal à 2, 4, 6, 8,..., etc.

C'est celui qui va être décrit, et dans lequel, ainsi qu'on le verra, on peut aller actuellement jusqu'à 24.

Par définition, la télégraphie multiple réversible ou multiplex devant réaliser la transmission *simultanée, dans les deux sens*, de groupes de signaux différents, il faut que les récepteurs de chacun des deux postes en communication soient *constamment* acces-

sibles aux courants transmis des deux côtés sur la même ligne. Il faut, par suite, que cette ligne soit *toujours* reliée aux récepteurs des deux postes ; comme conséquence immédiate, les courants émis par un poste sont forcés de traverser les récepteurs de ce poste ou, tout au moins, d'agir sur eux, avant d'arriver, par la ligne, aux récepteurs du poste correspondant.

Or, pour pouvoir recevoir des signaux dans un poste en même temps qu'on en transmet, il est absolument nécessaire que l'action des signaux transmis sur les récepteurs du poste transmetteur soit pratiquement éteinte, c'est-à-dire rendue négligeable par rapport à l'action des signaux reçus. De là, nécessité d'établir un circuit, dit *extincteur*, dans lequel un système d'appareils soit combiné de manière à éteindre les effets des signaux transmis sur les récepteurs du poste transmetteur.

Tout système de télégraphie réversible, duplex, quadruplex..., multiplex doit donc comprendre les circuits suivants, ouverts ou fermés suivant les cas (Voir plus loin les *fig.* 1 et 3) :

1° Un circuit transmetteur, C*t*, dans lequel sont disposés les appareils transmetteurs des courants ;

2° Un circuit récepteur C*r*, où se trouvent les appareils récepteurs ;

3° Un circuit de ligne C*l* formé par une ligne simple avec terres aux deux bouts, ou une ligne double, comme pour la téléphonie ;

4° Enfin un circuit extincteur C*e*, où se trouvent les appareils destinés à éteindre ou neutraliser les effets des signaux transmis sur les récepteurs du poste transmetteur : on l'appelle habituellement ligne factice ou artificielle, parce qu'on cherche à rendre ce système équivalent en résistance et capacité à la ligne réelle qui relie les deux postes correspondants.

Nous allons décrire d'abord, d'une manière générale, le système employé pour mettre effectivement en relation ces circuits les uns avec les autres ; on pourrait l'appeler : système collecteur distributeur et extincteur de courants vibrants.

Système collecteur, distributeur et extincteur de courants vibrants

Ce système est destiné à mettre simultanément en relation (*fig.* 1) une ligne téléphonique ou télégraphique à deux fils LL, ou à un fil

avec terres aux deux bouts : 1° avec le circuit *transmetteur* C*t* où l'on produit un ou plusieurs systèmes de courants ordinaires ou alternatifs ou ondulatoires de périodes ou fréquences différentes, à l'aide d'appareils T quelconques ; 2° avec le circuit *récepteur* C*r* renfermant des appareils R*c* pouvant recevoir les courants dont on vient de parler et les utiliser pour la télégraphie, la téléphonie, ou autrement ; 3° avec le circuit *extincteur* C*e*, dont le rôle sera expliqué plus loin complètement.

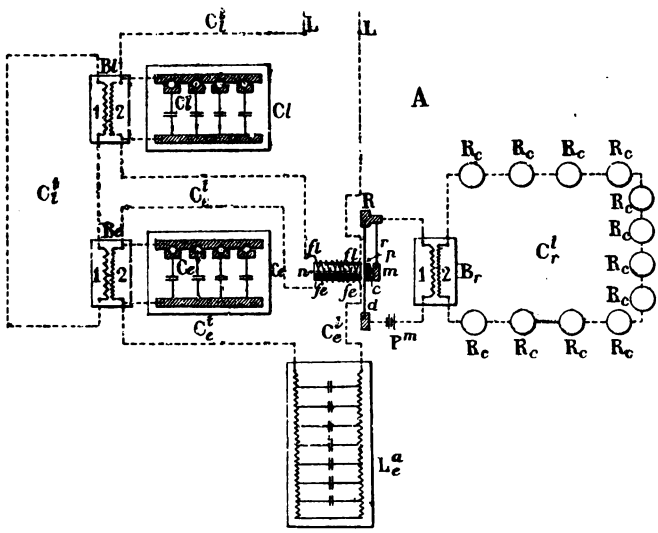


FIG. 1 (1).

I. — La relation du circuit de la ligne C*l* avec le circuit transmetteur C*t* s'établit par l'intermédiaire du fil secondaire 2 d'une bobine d'induction B*l* (bobine d'induction *de ligne*), dont le fil primaire 1 fait partie du circuit C*t* ; le circuit de la ligne lui-même est complété par le fil *fl* enroulé sur le noyau *n* de l'électro-aimant d'un téléphone faisant partie d'un appareil R*d* décrit plus loin.

II. — La relation du circuit de ligne C*l* avec le circuit extincteur C*e* s'établit par l'intermédiaire d'un second fil *fe*, identique à *fl*, enroulé sur le même noyau *n*. Le circuit C*e*, outre le fil *fe*, renferme

(1) Dans toutes les figures de ce mémoire, au lieu de C_t^t, C_e^t, C_r^t, C_l^t, C_2, C_e, il faut lire : C_t, C_e, C_r, C_l, K_i, K_e.

le fil secondaire 2 d'une autre bobine d'induction B*e* (bobine d'*extinction*) identique à B*l*, et une ligne artificielle L*e*, formée de résistances et de condensateurs gradués.

Les fils primaires des bobines B*l* et B*e*, disposés en série, font partie du circuit transmetteur C*t*.

III. — La relation de la ligne avec le circuit récepteur C*r* s'établit par l'intermédiaire d'un *relais télémicrophonique différentiel* R*d* et du fil secondaire 2 d'une bobine d'induction B*r* (bobine de *réception*).

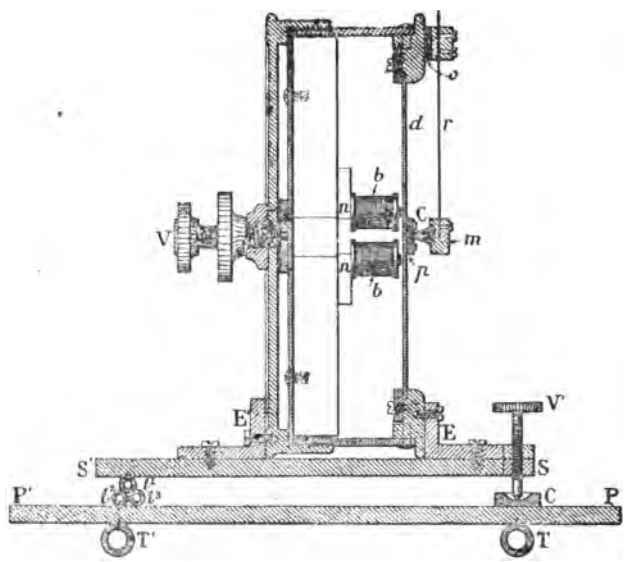


Fig. 2.

Le relais est formé (*fig.* 1 et 2) :

1° D'un téléphone dont le diaphragme est *d*, et le noyau de l'électro, *n*, sur lequel sont enroulés deux fils identiques, *fl* et *fe*, pouvant être parcourus en sens inverse par les courants venant d'une même source ;

2° D'un microphone composé d'une plaque *p* de charbon vissée au diaphragme *d*, d'un contact *c* de charbon fixé à une masse métallique *m*, supportée par un ressort *r* plat et mince, fixé à la monture du téléphone, isolé de l'appareil par une plaque d'ébonite *o* et dont la longueur peut varier ; une vis V permet de rapprocher les bobines *b*, *b*, du diaphragme du téléphone.

Deux équerres, E, E′ fixent le téléphone sur un socle SS′, qui porte,

d'un côté, un tube de caoutchouc épais t^1, reposant sur deux autres tubes t^2, t^3 juxtaposés et fixés à une plate-forme PP'. Celle-ci repose elle-même sur deux tubes en caoutchouc T, T', et porte une borne creuse métallique C. Une vis V', fixée à SS', et dont la pointe butte sur le fond de la borne C, permet de faire tourner l'appareil autour du tube t^1, comme charnière, de façon à régler le contact entre *c* et *p*, et, par suite, la sensibilité microphonique. L'ensemble des tubes soustrait l'appareil aux effets des trépidations extérieures.

pm est la pile de ce microphone ; 1 est le fil primaire de la bobine B*r* du microphone, et 2 est le fil secondaire, dans lequel le circuit récepteur C*r* est intercalé.

Le système est complété par deux condensateurs gradués : l'un, K*l* (condensateur de ligne), établi en dérivation sur la bobine de ligne B*l* ; l'autre, K*e* (condensateur d'extinction), établi en dérivation sur la bobine B*e* du circuit d'extinction C*e* ; on va voir tout à l'heure le rôle important que jouent ces condensateurs.

Enfin, la ligne LL (*fig.* 3) peut réunir deux postes ou stations. renfermant le système d'appareils qui vient d'être décrit ; et chacun

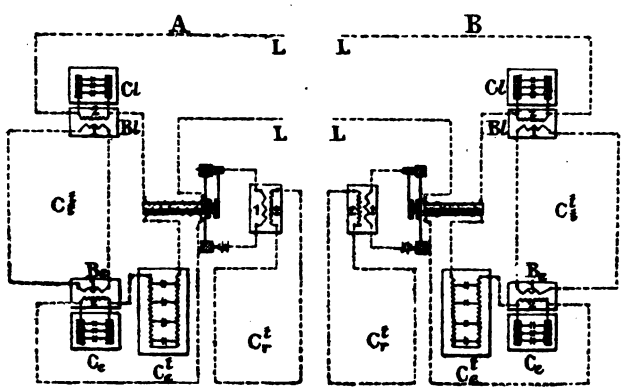


Fig. 3.

d'eux peut transmettre simultanément ou non dans son circuit C*t* des systèmes de courants ordinaires, ou alternatifs, ou ondulatoires identiques, reçus dans l'autre station par l'intermédiaire de cette ligne LL.

Fonctionnement du système.

Ce système remplit une triple fonction (*fig.* 1).

I. — Le système est *collecteur* des courants ordinaires, où alternatifs, ou ondulatoires arrivant par la ligne, car leur énergie au passage à travers le fil *fl* est transformée en énergie mécanique dans le diaphragme *d* du téléphone, dont les molécules vibrent synchroniquement avec tous ces courants, reproduisant sans altération leurs périodes ou fréquences, s'ils sont ondulatoires.

Le système peut être *en même temps* collecteur des courants de même nature que ceux de la ligne, produits dans le circuit transmetteur C*t*, et qui arrivent à la fois au téléphone du relais R*d*, en sens inverse, par l'intermédiaire des deux bobines B*r* et B*e* et des deux enroulements des fils *fl* et *fe*; nous allons revenir tout à l'heure sur ce point.

II. — Le système est *distributeur* automatique dans le circuit récepteur C*r* des courants arrivant de la ligne L; car les mouvements que ces courants produisent dans le diaphragme *d* du téléphone se transmettent sans altération au contact microphonique *p*, *c*, et se reproduisent avec l'intermédiaire du fil primaire 1 par induction sur le fil secondaire de la bobine B*r* du relais, dans le circuit récepteur C*r*.

Nous allons voir que les courants produits dans le circuit transmetteur C*t*, et qui peuvent arriver aussi dans le fil *fe* du relais, ne produisent aucun effet dans le circuit récepteur C*r*.

III. — Le système est *extincteur*, dans le relais R*d*, des courants produits dans le circuit transmetteur de la station où se trouve ce relais.

En effet, ces courants arrivent *en même temps* par les deux bobines B*l* et B*e*, et en *sens inverse*, dans les fils *fl* et *fe* du relais. Si ce sont des courants ordinaires originairement constants, ils se détruisent; si ce sont des courants ondulatoires, ils ont *même fréquence;* on peut, de plus, leur donner la *même phase* en faisant varier le rapport des capacités des condensateurs gradués K*l* et K*e*, et de la ligne artificielle L*e* à résistance et condensation graduées, parce qu'on agit avec eux sur la self-induction des bobines B*l* et B*e*. Ce résultat est capital dans le système, car alors ces courants, arrivant *en même temps* dans le relais, *en sens inverse*, *avec la même fréquence* et avec

la même phase, n'ont aucune action sur le relais ; ils sont éteints dans ce relais pendant qu'ils se propagent librement sur la ligne LL.

L'expérience prouve que ce résultat est facilement obtenu par la simple manœuvre des condensateurs gradués K*l* et K*e*, de capacité convenable.

APPLICATION DE CE SYSTÈME AU MULTIPLEX.

Dans la description ci-dessus, j'ai laissé, à dessein, indéterminée la nature des transmetteurs dans le circuit C*t* et des récepteurs dans le circuit C*r*, pour montrer la généralité du système ; voici maintenant les appareils qui en permettent l'application au multiplex.

I. *Transmetteurs.* — La *fig.* 4 représente schématiquement quelques détails du circuit transmetteur et l'ensemble des autres circuits.

Le transmetteur actuel est ce que je nomme un *électrodiapason inductophone;* il y en a seulement trois dessinés en plan sur la *fig.* 4; il faut en supposer douze.

L'électrodiapason inductophone, représenté en plan dans la *fig.* 5, est un électrodiapason, c'est-à-dire un diapason entretenu électriquement en mouvement vibratoire continu ; à cet effet, un électro-aimant E, placé entre les branches de l'instrument, communique d'un côté avec le pôle d'une pile d'*entretien* P*e*, de l'autre avec la masse du diapason et avec un style en acier S*e* (style d'entretien) de longueur convenable, fixé à l'une des branches, en face d'une plaque de platine A*e* communiquant avec l'autre pôle de la pile ; il suffit de mettre en contact A*e* et S*e* pour que l'électro agisse sur les branches, rompe le contact, qui se rétablit quand les branches reviennent vers leur position primitive, et ainsi de suite.

J'ai complété cet appareil, que j'ai imaginé en 1873, de la manière suivante :

Un second style S*t*, ou style de transmission, est fixé à la seconde branche par une vis isolée électriquement du diapason par un bloc d'ivoire ; on le met en communication par un fil d'aluminium isolé *f* (*fig.* 5) avec le pôle d'une autre pile P*t*, ou pile de transmission, dont l'autre pôle est relié à une plaque de platine A*t* par l'intermédiaire de l'un des fils 1 d'un transformateur d'induction T (*fig.* 4).

Pendant le mouvement du diapason, entretenu, comme on l'a dit, chaque fois que le style S*t* touche A*t*, la pile P*t* envoie un courant

dans le fil n° 1 du transformateur (*fig.* 4) ; celui-ci est donc parcouru

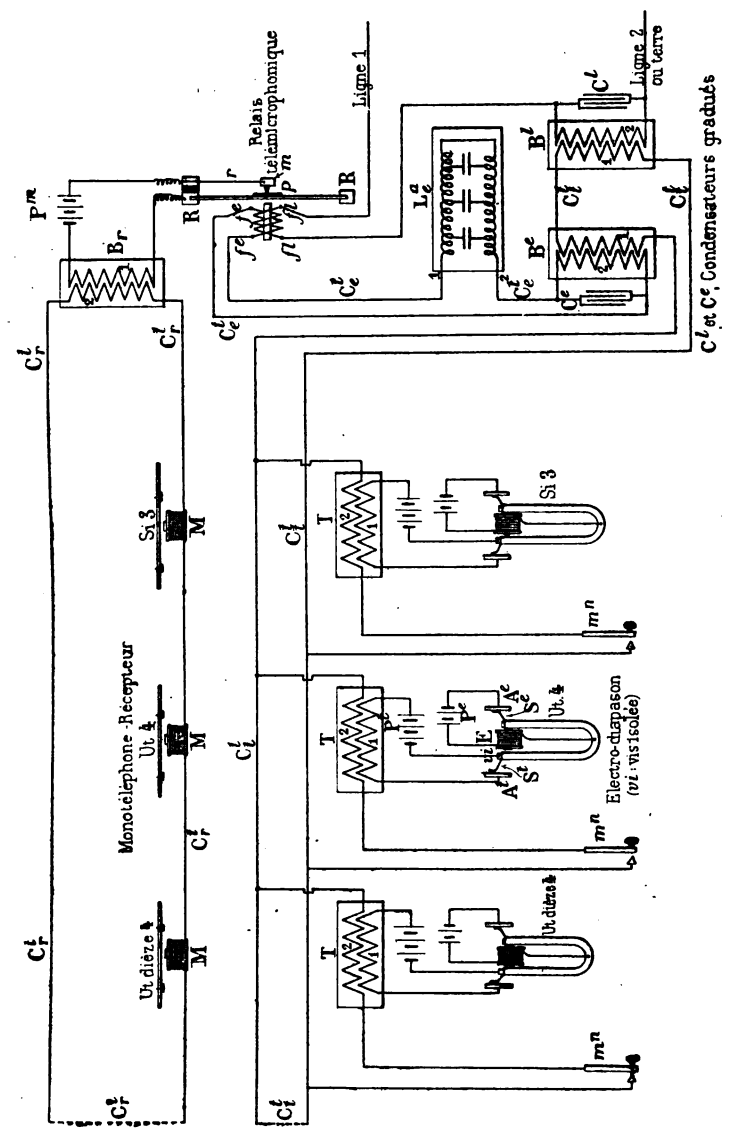


Fig. 4.

à chaque seconde par un nombre de courants égal au nombre de vibrations du diapason.

Il en résulte un nombre *égal* de courants *induits* dans le fil n° 2 du

transformateur identique au fil n° 1 ; d'où la qualification d'*inductophone* donnée à l'instrument décrit.

Dispositif simplifié (représenté à gauche de la *fig.* 4 sur l'électrodiapason *ut* dièze$_4$). — On supprime la pile de transmission P*t*, le fil isolé *f* et la vis isolée. Les deux boutons P*t* (*fig.* 5) sont reliés, d'une part, au fil primaire 1 du transformateur T (*fig.* 4), et, d'autre

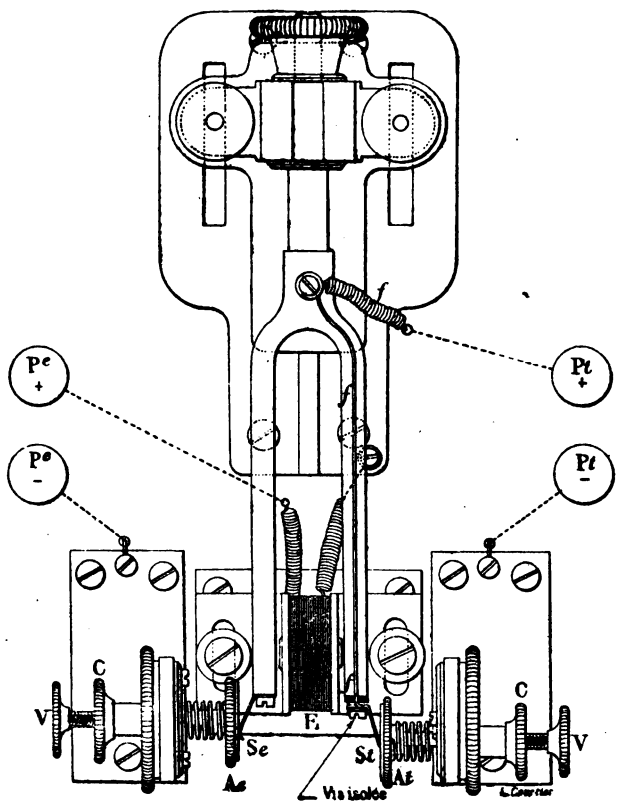


Fig. 5.

part, ils sont mis en dérivation sur le circuit de l'électro E d'entretien. Ainsi c'est une dérivation du courant vibrant d'entretien fourni par la pile P*e* qui parcourt d'une manière continue le fil n° 1 du transformateur. Quand les résistances de ce fil et de la bobine E sont à peu près égales, l'intensité des courants émis dans la dérivation est suffisante pour le bon fonctionnement du système, même sur de

longues lignes, quand la pile P*e* se compose de 2 ou 3 éléments Leclanché à grande surface, par exemple. De plus, en reliant métalliquement les boutons P*e* et P*t* ou les plaques A*e* et A*t* (*fig.* 4 et 5), le style S*t* n'étant plus isolé du diapason, il en résulte que, si le style S*e* se casse, ou si la plaque de platine A*e* est usée, l'on peut immédiatement entretenir le mouvement de l'électrodiapason avec le style S*t* et la plaque A*t*. L'appareil est ainsi simplifié, et il se trouve en quelque sorte à double effet.

Enfin les fils n° 2 des douze transformateurs T (*fig.* 4) sont placés en dérivation sur le circuit transmetteur C*t*, par l'intermédiaire d'un manipulateur *mn* (*fig.* 4). De telle sorte que, si l'on abaisse l'un quelconque de ces manipulateurs, il s'établit dans le circuit transmetteur et, par suite, dans les fils primaires des bobines d'induction B*e* et B*l* (*fig.* 1 et 4), un courant intermittent rythmé, ou plutôt un courant ondulatoire, car, à cause des étincelles qui éclatent entre les styles S*t* ou S*e* et les plaques A*t* ou A*e*, à chaque vibration du diapason, le circuit de *transmission* P*t*S*t*A*t*, par exemple, n'est jamais tout à fait rompu.

La période ou la fréquence de ce courant induit est d'ailleurs égale à celle du diapason correspondant ; il suffit, pour s'en apercevoir, de mettre un téléphone en dérivation sur le circuit C*t*, en deux points quelconques, et d'abaisser le manipulateur *mn* ; le son perçu dans le téléphone est identiquement le même que celui du diapason. Si l'on abaisse à la fois tous les manipulateurs ou plusieurs d'entre eux, les divers courants induits de période différente se propagent simultanément et *sans se confondre*, dans le circuit C*t*. Et alors, par suite d'une seconde induction, autant de courants de mêmes périodes ou fréquences se produisent à la fois dans les fils secondaires 2, des bobines B*e* et B*l*, et, par l'intermédiaire des deux fils *fe* et *fl* du relais R*d*, sur la ligne réelle, et dans le circuit d'extinction C*e* à travers la ligne artificielle L*e*.

Remarque. — Le fonctionnement des électrodiapasons, des transformateurs, des manipulateurs et des bobines d'induction B*e* et B*l*, montre déjà que le système décrit satisfait aux conditions I, II et III, énoncées ci-dessus (p. 86).

En effet, premièrement on a produit des mouvements électriques périodiques de périodes fixes facilement appréciables, et il y a lieu de remarquer que, dans chacun de ces mouvements, malgré les intermittences résultant du jeu des manipulateurs, le régime vibratoire périodique a le temps de bien *s'établir;* car il suffit, en

acoustique, de produire environ 32 mouvements vibratoires par seconde, c'est-à-dire 3 ou 4 dans 1/10 de seconde, pour obtenir un *régime* vibratoire *bien établi* correspondant à ce qu'on nomme un son *soutenu;* or les électrodiapasons employés produisent de 480 à 900 vibrations par seconde, par suite au moins 48 vibrations dans 1/10 de seconde, durée du *point* qui est le signal le plus bref du système télégraphique Morse. Il en résulte que, même en négligeant les 3 ou 4 premières et dernières vibrations électriques au commencement et à la fin du *point*, qui sont un peu altérées par la self-induction, il reste au minimum environ 40 vibrations électriques régulières dans 1/10 de seconde, c'est-à-dire 10 fois plus qu'il n'en faut pour avoir, pendant ce temps très court, un régime électrique vibratoire bien établi ; c'est ce que démontrent, d'ailleurs, les sons très purs qui se produisent, quand on manipule, dans un téléphone relié aux extrémités d'un manipulateur quelconque de l'appareil.

En second lieu, on a réuni dans un même conducteur renfermant les fils primaires des transformateurs T, et, par induction, dans les fils secondaires de ces transformateurs, le fil primaire des bobines B*e* et B*l*, tous les mouvements périodiques produits [II]. Il en résulte bien un mouvement périodique général, dans lequel les mouvements périodiques particuliers ne sont que superposés et restent indépendants les uns des autres [III] ; en effet, il suffit de fixer un téléphone aux deux bouts du fil primaire de l'une des bobines B*e* ou B*l*, et d'appuyer sur les manipulateurs correspondant par exemple aux diapasons *ut*, *mi*, *sol*, *la* dièze ou *si* bémol ; on entend alors dans le téléphone un accord de septième diminuée très pur où les quatre sons se distinguent très bien les uns des autres. Il y a lieu de remarquer que la transformation d'énergie produite entre les fils primaires et secondaires des transformateurs T n'altère pas, d'ailleurs, la périodicité de ces mouvements.

Le même mouvement général périodique est reproduit inaltéré par induction dans le circuit de ligne C*l*, comprenant le fil secondaire de la bobine B*l*, ainsi que le fil *fl* du relais télémicrophonique R et la ligne L ; on le vérifie en fixant un téléphone en déviation, soit aux bouts du fil secondaire de la bobine B*l*, soit sur la ligne L au sortir du relais.

Le fonctionnement du relais, d'une part, et celui des condensateurs gradués K*e*, K*l*, et de la ligne artificielle L*a* de l'autre, montrent que le système satisfait, autant qu'on peut en juger, à la condition IV et

complètement à la condition V (p. 86). En effet, dans le diaphragme du relais on a transmis, par l'intermédiaire du champ magnétique, l'énergie des mouvements périodiques à un système matériel, et communiqué à ce système un mouvement général périodique et une énergie générale, qui doit être la somme des énergies des mouvements périodiques particuliers [IV]. Il suffit, pour se convaincre de cette transmission d'énergie, d'approcher l'oreille du diaphragme du relais, quand les condensateurs K*e* et K*l* ne sont pas réglés pour éteindre ses mouvements : on entend alors séparément et ensemble les sons produits par les transmetteurs, le diaphragme fonctionnant comme celui d'un téléphone ordinaire qui reproduit tous les mouvements vibratoires qu'on lui transmet.

D'un autre côté, le réglage très simple des condensateurs et de la ligne artificielle pour l'extinction des transmissions dans le poste transmetteur montre que l'on peut faire varier la phase des mouvements périodiques électriques transmis, les *décaler*, sans modifier leur période, et les faire *interférer* [V] ; c'est précisément cette interférence continuelle, obtenue à la fois pour tous les mouvements particuliers, qui constitue l'*extinction* des signaux transmis dans le poste transmetteur et permet en même temps la réception nette des signaux qui arrivent de la ligne.

II. *Récepteurs.* — Dans le circuit récepteur C*r*, on place, pour le multiplex, douze monotéléphones reliés en série ou en surface.

L'appareil actuel (*fig.* 6) est plus simple que celui décrit dans les *Annales télégraphiques*, numéro de mai-juin 1891. Il se compose d'une boîte cylindrique recouverte d'un couvercle vitré, renfermant un aimant énergique dont le noyau creux, N, est recouvert d'une bobine E comme dans un téléphone ordinaire ; mais la membrane téléphonique, d'environ 2 millimètres d'épaisseur, au lieu d'être encastrée sur sa circonférence, est posée simplement sur trois points de la circonférence de la première ligne nodale par des tiges *t*, fixées à des glissières mobiles sur un rayon de la plate-forme circulaire P, qui les supporte. Les diamètres des membranes sont déterminés par la condition qu'elles rendent pour leur premier harmonique les sons si_3 (480 vibrations par seconde), ut_4 (512 vibrations), *ut* dièze$_4$ (543), et ainsi de suite de demi-ton en demi-ton jusqu'à *la* dièze$_4$ inclusivement (900 environ). Chacune d'elles est exactement accordée avec un des électrodiapasons transmetteurs.

Dans ces conditions, quand on fait passer dans la bobine E une

série de courants ondulatoires dont la période est égale à celle du premier harmonique de la membrane, celle-ci résonne énergiquement, tandis qu'elle reste à peu près immobile, si cette période en diffère d'une quantité correspondant à un demi-ton au moins ; d'où le nom de *monotéléphone* donné à l'instrument, qui, en effet, ne renforce véritablement qu'*un seul* son. Ces récepteurs monotéléphoniques sont donc réellement caractérisés par le son de leur premier harmonique ; c'est en ce sens qu'on peut dire, pour abréger, monotéléphone ou récepteur si_3, ut_4, fa_4...

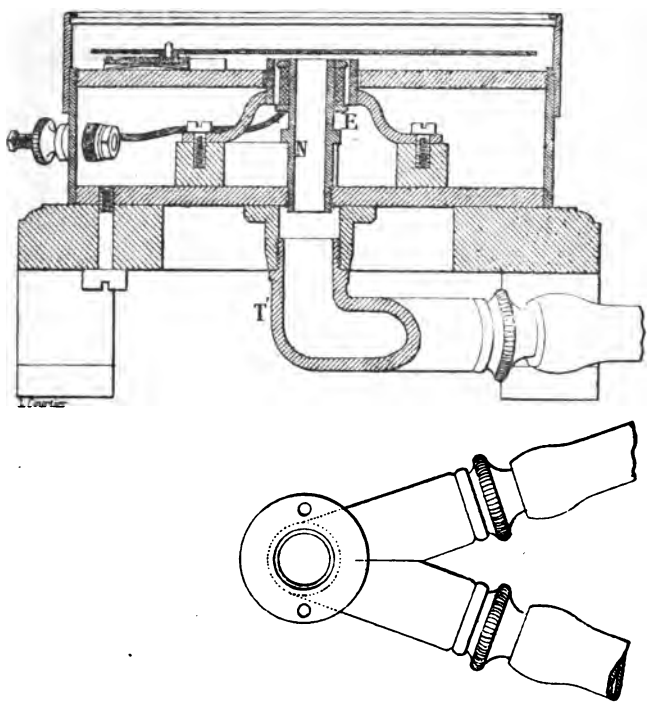


Fig. 6.

Pour recueillir les ondes sonores produites par l'un des récepteurs vibrant sous l'influence de signaux produits par des courants ondulatoires de même période que lui, un tube T′ est ajusté au noyau creux de l'électro E, et divisé en deux branches reliées aux oreilles par l'intermédiaire de tubes légers de caoutchouc terminés par deux embouts recourbés en ébonite ou en verre, dits *écouteurs*. Ces

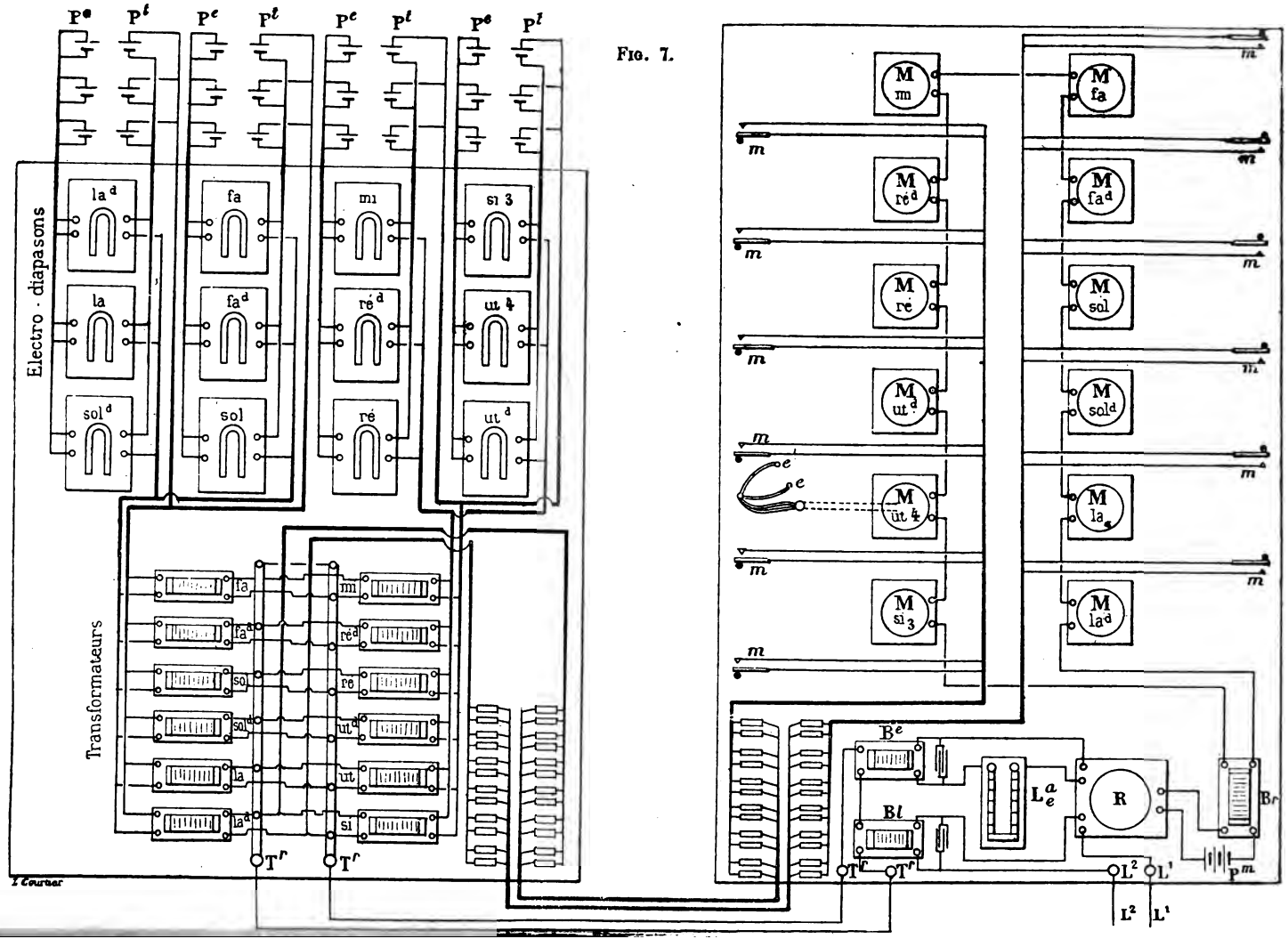


Fig. 7.

I. Courier

embouts peuvent être maintenus aux oreilles par un ressort en acier en forme de V passant sous le menton de l'opérateur. L'un de ces écouteurs est indiqué sommairement au bas de la *fig.* 7 de la planche (récepteur ut_4) [1]. La bobine de l'électro est recouverte d'un grand nombre de tours de fil fin formant une résistance de 200 à 400 ohms.

Enfin la plate-forme P, qui supporte les disques, est vissée dans la monture de l'appareil, de telle sorte qu'en la vissant ou la dévissant on rapproche ou on éloigne le disque du noyau de l'électro-aimant, et, par suite, on sensibilise plus ou moins l'appareil. Cette opération peut se faire sans interrompre la réception.

Trois de ces récepteurs monotéléphoniques correspondant aux sons si_3, ut_4, *ut* dièze$_4$, sont représentés schématiquement par leur électro-aimant et leur plaque vibrante dans la *fig.* 4. Le circuit récepteur C*r* qui les contient est fermé à gauche en pointillé, et à droite par le fil secondaire de la bobine d'induction B*r* du relais R*d*. Il faut supposer douze monotéléphones, procédant par demi-tons, de si_3 à *la* dièze$_4$ rangés à la suite les uns des autres dans ce circuit, comme on les a indiqués dans la *fig.* 7.

Remarque. — Le fonctionnement des récepteurs, et, en général, des appareils constituant le circuit récepteur C*r*, montre qu'au point de contact des charbons *c* et C du relais télémicrophonique (*fig.* 4) l'énergie électrique des mouvements périodiques du circuit de ligne, transformée en énergie mécanique dans le diaphragme du relais, est de nouveau transformée en énergie électrique dans le circuit formé par ces charbons, le diaphragme, la pile microphonique P*m* et le fil primaire de la bobine de réception B*r*, et ensuite, par induction, dans la série des récepteurs monotéléphoniques.

Cette énergie électrique, correspondant à un mouvement général périodique, ainsi produite dans le circuit récepteur, est de même nature que celle du circuit transmetteur, ainsi que le montre un téléphone placé en dérivation aux bouts du fil secondaire de la bobine B*r* ; de plus, le mouvement général résulte des mêmes mouvements périodiques particuliers simplement superposés ; car les récepteurs analysent précisément ce mouvement général, en vibrant sous l'influence des mouvements particuliers séparés les uns des autres, et dont l'indépendance est ainsi matériellement manifestée.

---

[1] La *fig.* 7 représente le mode d'installation qui pourrait être adopté pour un poste télégraphique, et qui a été essayé au poste central des télégraphes de Paris.

Encore ici les conditions générales II et III énoncées page 86 se trouvent réalisées.

III. *Transmission et réception simultanées des signaux.* — On voit, d'après cette description, comment les signaux sont transmis et reçus simultanément en se croisant sans s'altérer réciproquement.

Supposons les diapasons en marche dans les deux postes correspondants [A] et [B] (*fig.* 3 et 4). Si, dans le poste [A], un employé produit des signaux Morse avec le manipulateur *mn* relatif au diapason si_3, par exemple (*fig.* 4), ces signaux se produisent par induction à la fois dans les fils n° 2 des bobines B*e* et B*l*; ceux de B*l* s'en vont sur la ligne en traversant le fil *fl* du relais R*d*; mais leur effet sur le relais est annulé par celui des signaux simultanément produits dans la bobine B*e* et qui traversent la ligne artificielle L*e* et le fil *fe* du relais, lorsque la ligne L*e* et les condensateurs K*l* et K*e* sont bien réglés. Le relais reste donc immobile, tandis que les signaux transmis se propagent sur la ligne et arrivent au poste [B], traversent le fil n° 2 de la bobine B*l* et le fil *fl* du relais R*d* du poste [B]; là ils ne sont pas annulés, le contact microphonique *pm* fonctionne, produit les signaux dans le fil n° 1 de la bobine d'induction B*r*; le fil n° 2 les reproduit par induction à travers tous les monotéléphones placés dans le circuit récepteur C*r*; mais le monotéléphone si_3 seul est mis en vibration, et l'employé qui dessert ce récepteur reçoit ainsi les signaux transmis sur le si_3 par le poste [A].

Pendant le même temps, un employé du poste [B] peut transmettre des signaux avec le manipulateur relatif à un diapason quelconque, et même au Si_3; ces signaux se croisent avec les précédents dans les deux postes et sur la ligne, sans s'influencer réciproquement, et le poste [A] les recevra *en même temps* qu'il transmet les précédents.

On voit donc qu'il est possible de produire dans l'un des postes douze transmissions simultanées, s'il y a douze transmetteurs et récepteurs différents installés, d'en recevoir douze *en même temps* du poste correspondant et d'effectuer ainsi vingt-quatre transmissions simultanées.

Des essais ont été faits sur les lignes téléphoniques de Paris à Dijon, de Paris à Toulouse et, en dernier lieu, de Paris à Bordeaux, en février 1898. On a pu obtenir la monophonie complète des récepteurs, c'est-à-dire la séparation de signaux ondulatoires simultanés de période différant d'au moins un demi-ton, et croiser des transmissions simultanées, en éteignant si bien les mouvements que les

transmissions d'un poste tendent à produire dans le relais et les monotéléphones du même poste, que l'on a pu croiser les transmissions correspondant *à un même son*, et que l'échange des 24 transmissions simultanées est certain.

Remarque. — Le croisement sans confusion des signaux montre bien que l'application de la loi des petits mouvements, en tant qu'elle est indépendante du sens de ces mouvements, est ici valable, et que la condition générale VI, énoncée page 86, se trouve pleinement réalisée.

MODES D'EXPLOITATION DU MULTIPLEX.

Il y en a plusieurs, dont voici les principaux :

I. — *Exploitation multiplex entre deux postes extrêmes.* — C'est le mode d'exploitation qui correspond à l'exposé du système qui vient d'être fait ci-dessus ; il est représenté schématiquement dans la *fig.* 3 ;

II. — *Exploitation multiplex par postes échelonnés.* — Ce mode d'exploitation peut lui-même se subdiviser en deux : [A], le cas où un poste principal communique seul simultanément avec plusieurs postes secondaires ; [B], le cas où chacun des postes doit être en relation constante et simultanée avec tous les autres.

[A] Dans le premier cas (*fig.* 8), le poste principal P renferme les 12 appareils transmetteurs et récepteurs de si_3 à *la* dièze$_4$.

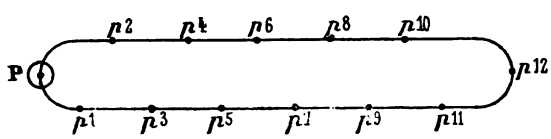


Fig. 8.

Chacun des postes secondaires $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_{12}$, au nombre de 12, ne renferme qu'un seul appareil, à l'aide duquel il communique avec le poste principal P ; mais il ne peut communiquer avec les autres que par l'intermédiaire de celui-ci.

Si l'un des postes secondaires p était assez important pour comporter plusieurs transmissions simultanées avec le poste principal P, on supprimerait autant de postes secondaires qu'on voudrait ajouter de transmissions au poste p.

Par exemple, sur un circuit Paris-Marseille, on pourrait donner une transmission avec Paris à Melun, Sens, Dijon, Chalon, Mâcon, Lyon, Valence, Avignon, et 4 transmissions à Marseille.

Ou bien : une transmission à Melun, Dijon, Mâcon, Valence, Avignon ; 3 transmissions à Lyon et 4 à Marseille.

En un mot, on pourrait répartir le nombre des transmissions possibles entre le poste principal et les postes secondaires suivant leur degré d'importance, à la seule condition que la somme des transmissions *distinctes* ne dépasse pas 12.

Il est à remarquer que chacune de ces transmissions distinctes, effectuée avec l'un des appareils si_3, ut_4, ..., etc., peut être doublée (duplexée), en vertu de la réversibilité du système.

Ce mode d'exploitation pourrait être utilisé sur un long circuit, et aussi sur un circuit plus restreint entre un poste principal et des postes qui l'entoureraient, entre Paris et les principaux bureaux de la banlieue, entre un chef-lieu de département et d'arrondissement et les bureaux des cantons voisins.

[B] Cas où chacun des postes d'un même circuit doit être en communication simultanée avec tous les autres.

En ce cas, le nombre des appareils de transmissions distincts restant toujours égal à 12, le nombre des postes p_1, p_2, p_3, ..., p_n desservis, qui, dans le cas précédent, pouvait aller jusqu'à 12, diminue nécessairement.

Supposons que tous les postes aient la même importance :

p_1 doit communiquer avec $n - 1$ postes, il aura donc à effectuer $n - 1$ transmissions ;

p_2 doit communiquer avec $n - 1$ postes ; mais il a déjà une transmission avec p_1 ; il n'aura donc besoin que de $n - 2$ transmissions ou appareils nouveaux ;

p_3 n'aura besoin que de $n - 3$ appareils nouveaux ;

. . . . . .

p_n n'aura besoin que de $n - n$ ou 0 appareil nouveau.

Le nombre des transmissions distinctes nécessaires sera donc égal à $0 + 1 + 2 + \ldots + n - 1$, et cette somme doit être égale à 12.

Il en résulte qu'on a, d'après une formule connue :

$$\frac{(n-1)\,n}{2} = 12, \qquad \text{d'où} \qquad n = 5{,}4.$$

On pourra donc desservir dans ces conditions, avec 12 appareils, 5 postes échelonnés.

Chacun d'eux devra avoir 4 appareils distincts, puisqu'il doit communiquer simultanément avec les 4 autres postes. Il est facile de voir que 10 appareils, au lieu de 12, suffiraient à cet effet. Il en resterait 2 de disponibles ; on pourrait les attribuer aux communications entre les deux postes principaux, qui auraient ainsi entre eux 3 communications simultanées, et même 6 en utilisant la réversibilité (le duplexage).

Par exemple, on pourrait ainsi desservir les postes de Paris, Tours, Poitiers, Angoulême et Bordeaux sur le même circuit, chacun d'eux ayant 2 communications avec les autres, sauf Paris et Bordeaux, qui en auraient 6 entre eux.

Installation des postes intermédiaires. — Nous avons vu, et les *fig.* 1 et 3 le montrent clairement, comment on peut installer deux postes A et B placés aux extrémités d'un circuit.

La partie du dispositif, relative au circuit de ligne seul C*l*, peut être représentée schématiquement, comme l'indique la *fig.* 9, par la membrane *d* et le noyau *n* de l'électro-aimant du relais, le fil de ligne *fl* qui recouvre le noyau, le fil n° 2 de la bobine de ligne B*l*, shuntée par le condensateur K*l*, et la ligne L, L'.

Installation des postes intermédiaires en embrochage (*fig.* 9). — L'idée la plus simple est d'intercaler, d'*embrocher* le circuit de ligne de chaque poste intermédiaire dans la ligne si elle est simple, dans l'un des fils L ou L' si elle est double, en y ajoutant des dispositifs complémentaires analogues à ceux qu'on emploie en pareil cas dans la télégraphie ordinaire.

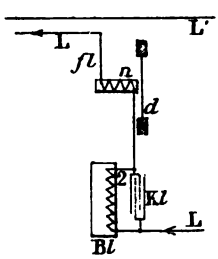


Fig. 9.

Installation en dérivation. — On peut encore placer le circuit de ligne de chaque poste intermédiaire C en dérivation sur le circuit, de plusieurs manières, par exemple :

1° En dérivation directe (*fig.* 10), l'extrémité de la bobine B*l* étant

reliée directement à l'une des lignes L du circuit, et l'extrémité du fil *fl* du relais à l'autre ligne L' ;

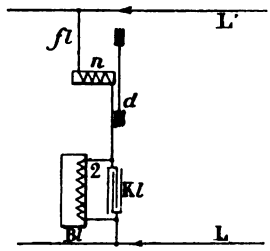


FIG. 10.

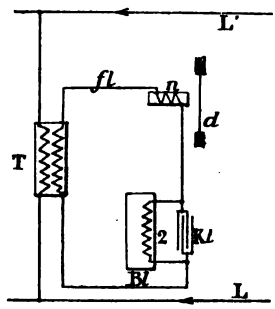


FIG. 11.

2° En dérivation indirecte ou par induction (*fig.* 11), le circuit de ligne étant fermé sur lui-même par l'intermédiaire de l'un des fils d'un transformateur d'induction T à fils égaux et à noyau de fer.

Les seules précautions à prendre paraissent consister à se servir de transformateurs de résistance convenable, et à noyau de fer mobile, de façon à pouvoir faire varier, d'une façon graduée, les effets de self-induction dans le transformateur (1) : c'est ce qu'on appelle aujourd'hui des bobines de réaction.

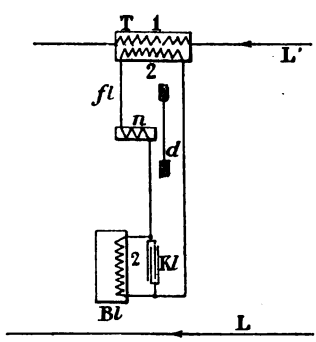


FIG. 12.

Installation en embrochage par induction (*fig.* 12 et 13). — On peut appeler ainsi un système dans lequel tous les postes A_1, A_2, A_3, .., A_n

(1) L'expérience faite sur un circuit Paris-Bordeaux, avec le poste de Tours ainsi intercalé, a donné de bons résultats, aux mois de mai et juillet 1898.

ne seraient reliés au circuit général que par l'intermédiaire de transformateurs T_1, T_2, T_3,... , T_n à fils égaux et à noyau de fer mobile; tous les fils primaires n° 1 des transformateurs seraient embrochés dans le circuit, et les fils secondaires n° 2 seraient, dans chaque poste, reliés, comme l'indique la *fig.* 12, aux extrémités du fil n° 2 de la bobine B*l* et du fil *fl* du relais.

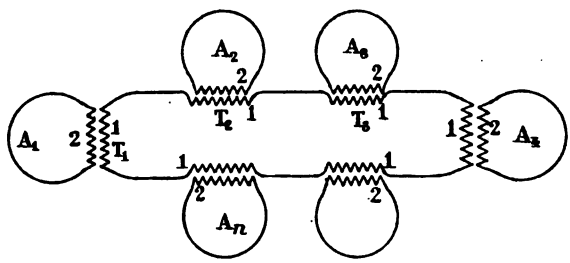


Fig. 13.

Tous les postes d'un même circuit ne seraient ainsi reliés au circuit que par induction; ils seraient indépendants, et rien ne les distinguerait les uns des autres au point de vue de l'installation. Toute la partie indépendante de la ligne dans l'installation de chaque poste ne serait pas changée : c'est pourquoi il est inutile de l'indiquer dans la figure schématique n° 13.

Il y a certainement d'autres modes d'installation qui pourraient être utilisés : ce que nous en disons ici suffit à montrer avec quelle souplesse le système se prête à l'emploi de dispositifs divers.

PRINCIPAUX AVANTAGES DU MULTIPLEX.

1° Économie de temps, par suite de la *simultanéité* des transmissions *en tous les sens*, qui assure une exploitation véritablement *continue* et intensive du circuit télégraphique. Sur un circuit à double fil tel que les circuits téléphoniques ordinaires, ou sur un seul fil soustrait à l'induction des fils voisins, le rendement du système complet à 12 transmetteurs peut arriver à 600 ou 700 dépêches à l'heure ;

2° Économie d'argent pour plusieurs raisons : d'abord par la diminution du nombre des fils nécessaires pour desservir plusieurs postes

simultanément ; en second lieu, parce que les organes que le système emploie sont extrêmement simples, indéréglables, et d'un prix modique relativement aux résultats obtenus ; les frais de leur entretien sont à peu près nuls ; les éléments de pile seuls sont à renouveler de temps en temps ; mais, comme 3 éléments (Leclanché, par exemple) suffisent par chaque transmetteur et qu'ils ne produisent que des courants vibrants, ces éléments durent longtemps.

D'autre part, le personnel manipulant n'a besoin d'avoir qu'une instruction technique élémentaire ; il suffit qu'il sache se servir du manipulateur Morse avec la vitesse maxima de transmission, comme on le fait couramment en Angleterre et en Amérique et comme on commence à le faire en France ;

3° Le système est applicable sur tous les circuits où le téléphone peut fonctionner, et même, alors que la transmission téléphonique peut devenir indistincte par suite d'effets dits de friture, ou vague par suite de la disparition des harmoniques de la voix, les signaux musicaux et rythmés du multiplex peuvent être bien reçus ;

4° Le système étant basé sur l'emploi de courants induits ondulatoires rapides, il est possible de se servir simultanément du même circuit pour transmettre avec le multiplex et un autre système télégraphique utilisant des courants continus ordinaires.

5° On voit immédiatement que le mode d'exploitation par postes échelonnés indiqué ci-dessus peut être applicable avec grand avantage sur les chemins de fer, où il serait si important, au point de vue de la sécurité, qu'une station pût donner à chaque instant un avis télégraphique immédiat à une autre quelconque, sur la même section, sans avoir besoin des stations intermédiaires ;

6° Le principe du système est applicable à la transmission téléphonique de la parole ; il permettra certainement de réaliser un mode de téléphonie réversible ou duplex.

Remarque générale. — Cet exposé du multiplex repose sur l'emploi de 12 transmetteurs et récepteurs ; mais on voit, par l'exposé même, que ce nombre d'appareils n'est *nullement limité à* 12 ; il peut être augmenté sans difficulté sérieuse.

Théorie de la formation des voyelles;

Par M. R. Marage [1].

Ce travail est le résumé des expériences que j'ai faites depuis cinq ans; les résultats en ont déjà été publiés; je tiens aujourd'hui à réunir toutes ces recherches, en ne citant que les principales et en renvoyant, pour le détail, aux brochures précédentes. (Voir à la fin.)

Ce travail comprendra six parties :

1° Disposition de l'appareil vocal;

2° Théories de Helmholtz, de Hermann et de Guillemin;

3° Expériences avec la méthode graphique;

4° Synthèse des voyelles, théorie de leur formation;

5° Concordance de cette théorie avec la disposition anatomique du larynx et de l'oreille;

6° Applications.

I

DISPOSITION DE L'APPAREIL VOCAL

L'appareil vocal est formé de deux parties : le larynx et les résonnateurs supra-laryngiens.

1° Le *larynx* peut être considéré comme un conduit traversé par un courant d'air sous une pression variable (3 à 16 centimètres d'eau).

Pendant la phonation, ce courant est interrompu plus ou moins complètement par les cordes vocales inférieures;

2° Les *résonateurs supra-laryngiens* sont formés du pharynx, du nez et de la cavité buccale; cette dernière peut prendre une infinité de formes différentes et *renforcer tous les sons* compris dans quatre octaves, de $si\flat_2$ à $si\flat_6$.

En résumé, l'appareil vocal se compose essentiellement d'un conduit permettant un écoulement d'air intermittent à travers des résonnateurs donnant des notes de $si\flat_2$ à $si\flat_6$.

Ceci posé, nous allons passer en revue les théories qui ont été émises sur la formation des voyelles.

---

[1] Séance du 20 avril 1900.

Elles sont au nombre de trois principales : celle de Helmholtz, qui est classique; celle de M. Hermann, qui n'est que celle de Helmholtz modifiée de manière à s'adapter aux expériences les plus récentes ; enfin la théorie des cyclones du Dr Guillemin.

II

THÉORIES DE HELMHOLTZ, DE HERMANN ET DE GUILLEMIN

1° Théorie de Helmholtz. — La théorie de Helmholtz est la suivante : les cordes vocales agissent comme des anches membraneuses, qui, en vibrant, donnent une note fondamentale accompagnée d'une infinité d'harmoniques ; lorsqu'on parle ou qu'on chante, les cavités supra-laryngiennes prennent une forme déterminée et constante pour chaque voyelle ; à cette forme correspond une note et une seule ; cette note, se trouvant dans la série des harmoniques du larynx, est renforcée : c'est *la vocable* ; la réunion de la note fondamentale laryngienne avec la vocable supra-laryngienne constitue la voyelle.

Il en résulte ceci :

1° Chaque note laryngienne est accompagnée d'une infinité d'harmoniques ;

2° Chaque voyelle a une vocable fixe, toujours en rapport harmonique avec la note laryngienne ;

3° La réunion de la note avec la vocable constitue la voyelle.

Cette théorie, remarquable par sa simplicité, s'appuie sur des expériences d'analyse et sur des expériences de synthèse.

Expériences d'analyse. — Elles portent sur les cordes vocales et sur les résonnateurs supra-laryngiens.

a) Helmholtz, qui était doué d'une oreille merveilleuse, distinguait les différents harmoniques qui constituent une voyelle ; il est vrai d'ajouter qu'il y a un nombre infini de musiciens qui ne les ont jamais entendus et rejettent absolument ce fait ;

b) On a cherché la note (vocable) correspondant au résonateur buccal prononçant la voyelle ; les méthodes ont été différentes et les résultats, peu concordants, sont renfermés dans le tableau suivant.

	MÉTHODE	OU	O	A	É	I
Donders	*Ecoutait* la voyelle chuchotée.	fa_3	$ré^3$	si^b_3	ut_5	fa_4
Auerbach	*Ecoutait* le son rendu par le larynx frappé avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	fa_2	la_3	fa_4	la^b_4	fa_3
Helmholtz	*Ecoutait* le son de la voyelle renforcé par le résonateur.	fa_2, $ré_6$	si^b_3	si^b_4	fa_3, si^b_5	fa_2, $ré_6$
Kœnig	*Ecoutait* le renforcement d'un diapason vibrant en avant de la bouche venant de prononcer la voyelle.	si^b_2	si^b3	si^b_4	si^b_5	si^b_6
Bourseul	*Ecoutait* le son rendu par les dents frappées avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	ut_4	sol_3	mi_2	fa_3	?
Hermann	Méthode graphique.	ut_4, $ré_4$	$ré_4$, mi_4	sol_4	si_5, ut_6	$ré_6$, sol_6

Ces différences tendraient à confirmer ce fait d'expérience que, pour prononcer une même voyelle, la bouche peut prendre une infinité de formes différentes; comme nous le verrons plus loin, il y a une relation absolue entre la forme de la cavité buccale et la note laryngienne.

Expériences de synthèse. — *a*) Helmholtz a construit des cordes vocales en baudruche; ces anches membraneuses, entre lesquelles on laisse une fente très étroite, font parfaitement vibrer des tuyaux sonores; cette expérience est intéressante, car elle prouve que, même si les cordes vocales étaient inertes, le fait seul du passage de l'air suffirait à produire des vibrations.

b) Helmholtz a fait vibrer les résonateurs correspondant aux voyelles au moyen de diapasons à anches, et il a ainsi pu reproduire les voyelles OU, O, A, à peu près, É, I, jamais.

Les diapasons représentaient le larynx; les résonateurs, les cavités supra-laryngiennes.

Cette non-réussite pour É et I tendrait à prouver que ces voyelles ne suivent pas la théorie de Helmholtz.

Si la théorie si simple de Helmholtz était vraie, on aurait dû pouvoir facilement reproduire les voyelles en combinant la vocable et la note fondamentale; or il n'en est rien.

On a pu, à la rigueur, obtenir OU, O, A, et encore ces deux dernières voyelles sont assez mauvaises; mais É et I n'ont jamais été reconstitués.

On peut donc en conclure que les conditions posées par Helmholtz, pour faire une voyelle, sont peut-être nécessaires, mais qu'elles ne sont sûrement pas suffisantes; nous allons voir, de plus, que cette théorie est en contradiction formelle avec les expériences graphiques qui démontrent, d'une façon absolument évidente, que la vocable n'est pas fixe, c'est-à-dire que la cavité buccale peut prendre une infinité de formes différentes pour faire une même voyelle.

2° **Théorie de Hermann.** — La théorie de Hermann, ou théorie des formants, s'énonce de la façon suivante : « La voyelle est un ton oral intermittent et oscillant. Si l'intermittence a lieu *n* fois par seconde, la voyelle est émise sur la note *n*. »

Voyons les expériences qui ont conduit à cet énoncé.

Hermann inscrit les sons sur le phonographe; puis, pour s'assurer que le tracé est bon, il fait reproduire par la plaque répétitrice ce qui a été impressionné.

Il s'agit ensuite de transformer en courbes les tracés en creux. Pour cela il remplace la plaque de verre par un miroir qui, au moyen d'un levier, suit toutes les ondulations du tracé. Le cylindre tourne très lentement (400 fois moins vite qu'au moment de l'inscription).

On reçoit sur le miroir l'image d'une fente lumineuse horizontale; après réflexion les rayons viennent tomber sur une fente verticale derrière laquelle passe d'un mouvement continu du papier photographique; on obtient ainsi des courbes qui sont étudiées au moyen de la série de Fourier, et, par une méthode très curieuse et très rapide, Hermann retrouve les sinusoïdes qui ont constitué la courbe.

Les résultats sont les suivants :

1° La vocable n'est pas fixe pour une même voyelle, elle oscille entre certaines notes;

	OU	O	A	É	I
1res recherches Hermann.	ut_4, $ré_4$	$ré_4$, mi_4	mi_4, sol_4	si_5, ut_6	$ré_6$, sol_6
2es recherches Hermann.	ut_3, fa_3 $ré_3$, mi_4	ut_4, $ré_4$	ut_4, sol_4	$ré_4$, mi_4 la_5, $ré_6$	mi_6, fa_6
3es recherches Hermann.	ut_4, fa_4	ut_4, mi_4	ut_4, sol_4	$ré_4$, mi_4 la_5, si_5	$ré_6$, sol_6
Recherches de Samojloff (élève de Hermann).	ut_3, sol_3 ut_4, mi_4	si_3, $ré_4$	sol_4, la_4	si_3, $ré_4$ si_5, $ré_5$	ut_4, mi_4 ut_3, sol_3 ? $ré_6$, mi_6

2° Les nombres trouvés pour les vocables sont beaucoup *plus élevés* que ceux qui avaient été admis jusqu'ici.

Il en résulte la théorie que j'ai énoncée plus haut : la voyelle est un ton oral intermittent et oscillant.

Examinons si cette théorie doit être admise. Je ne le crois pas, car on peut lui faire plusieurs objections très sérieuses.

Première objection. — On ne peut accorder aux courbes une confiance absolue, parce que l'embouchure, le tube, la chambre à air et la plaque vibrante ont modifié plus ou moins les vibrations sorties de la bouche; le phonographe parle, c'est vrai, mais il parle en dénaturant la voix ; je le démontrerai plus loin.

Deuxième objection. — On n'a pas le droit, au point de vue acoustique, d'appliquer à ces courbes la série de Fourier ; c'est supposer, en effet, que les voyelles sont constituées par des sons simples sinusoïdaux superposés, dérivant d'une même période, or c'est précisément ce que l'on cherche : c'est donc une pétition de principe. Si, au point de vue mathématique, cette méthode est irréprochable, au point de vue voyelles on n'en saurait dire autant.

C'est absolument l'opinion de M. Cornu, professeur à l'École polytechnique.

Troisième objection. — Enfin, si l'hypothèse de Hermann était vraie, il aurait dû pouvoir reconstituer les voyelles, puisqu'il avait trouvé tous les sons simples qui les composaient ; or les expériences de synthèse de Hermann sont loin d'avoir donné de meilleurs résultats que celles de Helmholtz.

3° **Théorie de Guillemin.** — Je veux dire quelques mots de la

théorie du Dr Guillemin, professeur à l'École de Médecine d'Alger. Cette théorie n'est, du reste, appuyée sur aucune expérience directe. La voici : les voyelles sont constituées par des cyclones qui se produisent dans les cavités supra-laryngiennes.

Le Dr Guillemin décrit les expériences qu'a faites le P. Lootens avec les instruments à bouche de flûte ; et, par analogie, il conclut que les ventricules de Morgagni sont des appeaux et que les sons s'y trouvent engendrés de la même façon.

Or il est certain, et mes expériences l'ont prouvé, que les cavités supra-laryngiennes sont parcourues par des cyclones au moment de la phonation ; on les voit parfaitement ; mais, comme on peut supprimer ces cyclones sans rien changer à la voyelle et à son tracé, on est en droit de conclure que, si les cyclones accompagnent la voyelle, ils ne la forment pas.

III

EXPÉRIENCES AVEC LA MÉTHODE GRAPHIQUE

Appareils. — Tous les appareils peuvent se ramener au type suivant (*fig.* 1) : un tambour inscripteur muni d'une membrane ou d'une plaque vibrante. Du côté de l'observateur se trouve une chambre à air, un tube plus ou moins long et une embouchure de forme variable ; de l'autre côté de la plaque vibrante se trouve : 1° soit un levier muni d'une plume inscrivant sur du papier ou sur du verre recouvert de noir de fumée : c'est un appareil graphique ordinaire ; 2° soit un miroir recevant un rayon lumineux qui, après réflexion, est photographié sur une plaque mobile (*fig.* 2, II) : c'est l'appareil précédent, dont le levier est un rayon lumineux ; 3° soit une pointe pouvant pénétrer plus ou moins dans un cylindre de cire : c'est un phonographe (*fig.* 2, III) ; 4° soit une masse de gaz combustible et photogénique dont la flamme est photographiée sur une feuille de papier mobile contenue dans un appareil de M. Marey, qui est un cinématographe sans arrêt : c'est une capsule manométrique (*fig.* 2, IV).

Tous ces instruments sont donc composés des mêmes éléments : une embouchure, un tube, une plaque vibrante et un levier.

Avant de faire les expériences de recherches, nous allons d'abord

vérifier nos appareils, c'est-à-dire examiner l'influence des différentes parties.

1° *Influence de l'embouchure.* — Les embouchures à parois courbes transforment tous les groupements; donc il faut les supprimer (*fig.* 3, 4, 5, 6, 7).

2° *Influence du tube.* — Le tube est un véritable tuyau sonore qui transforme les groupements dans leur forme et dans leur nombre (*fig.* 8).

3° *Influence de la plaque.* — Une plaque mince a une vibration propre qui varie avec sa nature et la façon dont elle est fixée; au contraire, Cauro a démontré dans sa thèse inaugurale (Sorbonne, 1899) qu'une membrane de caoutchouc mince et non tendue transmet toutes les vibrations sans introduire ni supprimer aucun harmonique. Donc il faut prendre une membrane de caoutchouc.

4° *Influence du levier.* — Si le levier n'est pas infiniment court, il vibre pour son propre compte et transforme tous les tracés; l'idéal serait donc un rayon lumineux (*fig.* 9, 10, 11).

Conséquence. — Les appareils, pour donner des résultats satisfaisants, doivent donc être très simplifiés; dans ces conditions, un appareil graphique, un phonographe et une capsule manométrique doivent toujours donner des résultats comparables entre eux.

Appareils présentant ces conditions. — 1° *Appareil de Schneebeli.* — L'appareil de Schneebeli se compose d'une embouchure curviligne (mauvais) et d'une membrane (*fig.* 12). — Le levier, du premier genre, est fixé au moyen d'un léger ressort perpendiculaire à son axe; c'est le point fixe qui tend à le faire revenir à sa position d'équilibre;

2° L'*appareil de Samojloff* est celui de Schneebeli dans lequel l'embouchure est à parois rectilignes, comme je l'avais indiqué auparavant; la plaque vibrante est en liège (il faudrait la remplacer par une membrane de caoutchouc) et le levier est remplacé par un rayon lumineux tombant sur un miroir qui suit tous les mouvements de la plaque;

3° *Appareil à ressort aérien.* — L'appareil que j'ai fait construire se compose d'une membrane de caoutchouc non tendue, au centre de laquelle s'appuie la petite branche d'un levier du troisième genre, qui ne porte qu'une articulation, son point fixe (*fig.* 13); au-dessus de la puissance est collée une petite surface plane en papier sur laquelle on fait arriver un courant d'air sous une pression constante

(1 centimètre d'eau); cela suffit pour forcer le levier à suivre tous les mouvements de la membrane.

Je me suis assuré d'abord que le courant d'air ne modifiait en rien les résultats [1].

4° *Capsule manométrique.* — L'appareil est parcouru par de l'acétylène s'échappant sous une pression de 1 centimètre d'eau. Au dessus se trouve une autre capsule vibrant, par l'intermédiaire d'un tambour de Marey, à l'unisson avec un diapason électrique au $\frac{1}{54}$ de seconde : c'est la flamme chronométrique (*fig.* 3, IV).

Les deux flammes sont photographiées au moyen d'un chronophotographe de Marey à mouvement continu.

Remarque. — Tout tracé doit être accompagné de la notion du temps ; pour les appareils graphiques ordinaires ou les phonographes, on peut se contenter de noter une fois pour toutes la vitesse du cylindre sur lequel on inscrit.

Expériences. — *Première expérience.* — Un diapason ordinaire à branches n'inscrit jamais rien directement par l'air : donc nos instruments sont infiniment moins sensibles que l'oreille et les microphones.

Deuxième expérience. — Un diapason à bouche, c'est-à-dire la petite anche métallique dont se servent les musiciens, inscrit une sinusoïde; on retrouve toujours exactement la note (*fig.* 15 et 16).

Donc nos appareils inscrivent la hauteur du son, mais ils n'inscrivent pas tous les détails spéciaux qui permettent à l'oreille de distinguer un diapason à anche d'un diapason ordinaire.

Nous pouvons déjà en conclure que les phonographes ne reproduisent pas tout; il est, en effet, impossible de reconnaître le timbre de voix spécial à chaque personne.

Troisième expérience. — On parle devant la membrane pour obtenir un graphique; il faut se placer très près de l'appareil, car, si la membrane transmet toutes les vibrations, elle diminue beaucoup leur intensité; c'est pour cela, du reste, que la plupart des expérimentateurs se servent d'une embouchure qui isole complètement l'orifice buccal du milieu extérieur; j'ai dit plus haut les inconvénients de cette méthode.

Quatrième expérience. — Le microphone est beaucoup plus sen-

---

(1) De plus, il y avait une disposition spéciale me permettant de noter le temps $\left(\frac{1}{54}\right.$ de seconde, dans mes expériences$\left.\right)$.

sible, car on peut l'impressionner en se plaçant à plusieurs mètres de distance ; en effet les déplacements de la plaque du phonographe sont de l'ordre du $\frac{1}{10}$ de millimètre, tandis que ceux de la plaque du microphone sont de l'ordre d'une fraction de micron (Cauro).

Cinquième expérience. — Division des voyelles. — On chante les voyelles sur différentes notes, on obtient les résultats suivants :

Sur les notes voisines de ut_3 (environ quatre notes au-dessus ou au-dessous de ut_3), on a des tracés très simples, caractéristiques de chaque voyelle : c'est la voyelle parlée (*fig.* 17 et 18) ; aussitôt que l'on s'écarte de ces notes, les groupes disparaissent rapidement, et, dans tous les cas, ils se transforment énormément à chaque note.

La note est toujours représentée par le nombre de groupes. On peut donc diviser, comme je l'ai fait, les voyelles en voyelles parlées et voyelles chantées, les premières ayant seules des groupements caractéristiques.

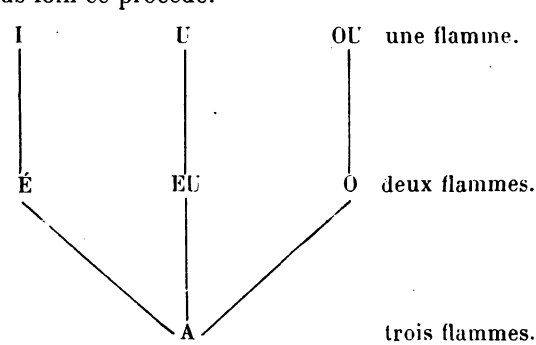
Les figures 18, 19, 20, 21, 23, empruntées aux travaux de Schneebeli, de Hermann, de Samojloff, et aux miens, marquent nettement ces différences.

Donc il faut étudier d'abord ce qu'il y a de plus simple : les voyelles parlées.

Sixième expérience. — Classification des voyelles parlées. — Avec les flammes manométriques on ne peut dire qu'une chose : c'est qu'il y a des voyelles à une flamme, à deux flammes et à trois flammes (*fig.* 17).

Ces résultats sont les mêmes si, au lieu de prendre une capsule manométrique, on prend, comme l'a fait Samojloff, l'oreille moyenne d'un chien et le tympan comme membrane (*fig.* 22).

Nous verrons plus loin ce procédé.



Cette classification s'applique également aux tracés que j'ai obtenus avec le phonographe et avec l'appareil à pression d'air ; les tracés de Schneebeli sont identiques (*fig.* 23).

Septième expérience. — *Voyelles parlées instantanées.* — Je n'ai obtenu de bons tracés dont je sois absolument sûr qu'avec les flammes manométriques ; on prononçait de suite les voyelles I, É, A ; U, EU, A ; OU, O, A, sans arrêt, aussi vite et aussi nettement que possible et en faisant passer à toute vitesse la feuille de papier photographique derrière l'objectif. J'indiquerai quelques résultats pour un expérimentateur.

I dure $\frac{1}{54}$ de seconde et est émis sur une note voisine de si_3 ;

É dure $\frac{2}{54}$ de seconde et sa note est la_3 ;

A dure $\frac{4}{54}$ de seconde et sa note est sol_3.

Entre É et A, il n'y a pas d'intervalle appréciable, les vibrations continuent et passent du groupement à deux flammes au groupement à trois flammes, sans interruption ; à la fin de A, les groupements disparaissent peu à peu, et les vibrations continuent pendant $\frac{3}{54}$ de seconde ; ensuite il y a $\frac{11}{54}$ de repos.

Les voyelles ont été inscrites dans l'ordre suivant : É, A d'un groupe, I du groupe suivant.

É dure $\frac{2}{54}$ de seconde note la_3 (868)	intervalle 0	A dure $\frac{4}{54}$ de seconde note sol_3 (756)	$\frac{3}{54}$ de seconde de vibrations sans groupements	$\frac{11}{54}$ de seconde de repos absolu	I dure $\frac{9}{54}$ de seconde note si_3 (972)

En tout, $\frac{29}{54}$ de seconde, un peu plus d'une demi-seconde. Ces nombres changent avec chaque voix et chaque expérimentateur.

Huitième expérience. — *Une voyelle seule instantanée.* — Les groupements n'apparaissent qu'au milieu du tracé ; aux deux extrémités, les vibrations sont simples et apparaissent peu à peu : c'est la forme en fuseau. Pour A, par exemple, il y a douze groupements de trois vibrations.

Neuvième expérience. — *Voyelles chantées.* — Le groupe d'une même voyelle varie à chaque note et avec chaque expérimentateur; cela tient, comme je le prouverai plus loin, à ce que la voyelle est mal émise, c'est-à-dire que la cavité buccale n'a pas la position voulue (*fig.* 19).

Les notes étudiées par Hermann varient de sol_1 à ut_3; ce sont donc des notes très basses; il en est de même des notes données par Samojloff, qui vont de sol_1 à mi_3 (*fig.* 20).

Les expériences que j'ai faites ont porté sur les voix d'homme aussi bien que sur les voix de femme (soprani); je n'ai obtenu des groupements que très rarement, mais la note se retrouvait toujours exactement. Je me trouve donc en contradiction avec Hermann, au moins dans les notes graves, puisqu'il ne s'est pas occupé des notes supérieures à ut_3.

Dixième expérience. — *Vocables.* — Hermann, trouvant toujours dans les voyelles chantées une courbe périodique continue, *courbe qui variait avec chaque voyelle et avec chaque note*, a appliqué la série de Fourier; il a ainsi trouvé pour la vocable des notes très différentes de celles des autres expérimentateurs dans ses premières recherches, moins différentes dans les dernières (Voir le tableau, p. 5). Les résultats de M. Samojloff sont évidemment meilleurs que ceux de M. Hermann, car son appareil a supprimé des causes d'erreur, par conséquent des vibrations accessoires; ce qui le prouve, c'est que ses vocables sont toutes des notes plus basses que celles trouvées par Hermann.

On peut conclure que la vocable varie et n'est pas fatalement un harmonique de la note fondamentale; donc la théorie de Helmholtz est en contradiction avec les expériences graphiques.

Résumé des résultats obtenus par les méthodes graphiques

1° Les différences considérables entre les divers expérimentateurs tiennent aux causes d'erreur que présentent les différents appareils;

2° Si on supprime ces causes d'erreurs, on voit que chaque voyelle a, *pour une note donnée*, un même tracé;

3° Ce tracé est une courbe périodique continue, le nombre de périodes à la seconde forme la note laryngienne; la forme de la période caractérise la voyelle;

4° Dans une même voyelle, la période change avec la note; lorsque

cette note est voisine des notes ordinaires sur lesquelles on parle, la période varie peu (à peu près une octave dont ut_3 serait le milieu) ; il n'en est pas de même lorsque la voyelle est chantée sur des notes graves ou aiguës : la période disparaît peu à peu, et on ne retrouve plus que la note laryngienne. Nous donnerons dans les applications (p. 21) l'explication de cette transformation du tracé d'une même voyelle avec la note sur laquelle elle est chantée ;

5° Pour une même voyelle parlée sur une certaine note, le meilleur tracé est évidemment le plus simple, pourvu qu'il reproduise la voyelle.

Or, si on impressionne un phonographe en supprimant les causes d'erreur (*fig.* 14), on trouve un tracé aussi simple que ceux qui ont été décrits plus haut, et l'appareil répète la voyelle très nettement; si on transforme le tracé en courbe, on obtient les mêmes groupements que ceux qu'a donnés directement la voix naturelle (*fig.* 24, 25, 26, 27).

Il semble donc bien que ces tracés si simples soient les meilleurs et contiennent tous les éléments et les seuls éléments de la voyelle; pour avoir une certitude absolue, nous allons faire la synthèse.

Expériences de synthèse. — Si réellement, par l'analyse précédente, on a trouvé tous les éléments d'une voyelle, on doit pouvoir la reconstituer ; nous avons vu que les expériences de Helmholtz avaient donné des résultats plutôt médiocres pour OU, O, A, et nuls pour É et I ; voyons si les autres expérimentateurs ont été plus heureux.

Méthode de Kœnig. — Kœnig a essayé de reconstituer les voyelles au moyen de la sirène à ondes, en faisant arriver un courant d'air sur les bords d'un disque découpé suivant le tracé de ses flammes manométriques (*fig.* 28).

Les résultats ne sont pas très bons, et, si on ne savait pas d'avance ce que l'on doit entendre, il serait impossible de distinguer un O d'un A.

Méthode de Hermann. — M. Hermann, ayant fait l'analyse de ses courbes par le procédé que nous avons vu plus haut, a voulu faire la synthèse des voyelles, mais les résultats ne sont guère meilleurs que ceux de ses prédécesseurs : OU, O, A ont pu être reproduits *à la rigueur*, mais les autres voyelles ont refusé énergiquement de sortir.

Il semble donc que l'hypothèse de Hermann ne saurait être admise; les voyelles ne sont pas constituées par des sons simples sinusoïdaux combinés ensemble.

Synthèse des voyelles. — J'ai cherché également à faire la synthèse des voyelles; pour cela, j'ai décomposé l'appareil phonateur en ses éléments : bouche, ventricules de Morgagni, larynx, et j'ai alors institué les expériences suivantes :

Principe. — Non seulement la voyelle devait être reconnue par une oreille quelconque, mais encore cette voyelle devait redonner un tracé identique à celui des voyelles naturelles. J'avais donc commencé par obtenir des tracés aussi exacts que possible, c'est-à-dire des tracés redonnant la voyelle; j'employais un phonographe Lioret impressionné en supprimant les causes d'erreurs (*fig.* 24, 25, 26, 27); le phonographe répétait très nettement la voyelle parlée, il s'agissait d'obtenir les mêmes tracés avec des voyelles artificielles (*fig.* 24 à 27). J'ai employé deux méthodes.

Première méthode. — Synthèse avec des résonateurs [1]. — *Première expérience.* — Tout transport d'air, continu ou discontinu, c'est-à-dire sourd ou sonore, produit, dans une cavité, des cyclones de Lootens.

Pour le prouver, il suffit de remplir de fumée un résonateur en verre $si\flat_3$; par exemple : si l'on souffle, on voit les cyclones se produire, soit qu'on opère avec un simple tube, soit que l'air insufflé devienne sonore en passant à travers un diapason à anche, donnant une *note quelconque.*

Les cyclones sont dus simplement à l'écoulement rapide de l'air dans une cavité ; ils n'ont aucune influence sur la production de la voyelle, car on peut les supprimer sans rien changer ni au tracé de la voyelle, ni à l'impression qu'elle produit sur l'oreille.

Deuxième expérience. — Si, comme nous l'avons vu, il y a une vocable pour chaque voyelle, c'est-à-dire une note correspondant à la forme des résonateurs supra-laryngiens, on doit reproduire la voyelle en faisant vibrer le résonateur correspondant au moyen d'un courant d'air traversant un diapason à anche, qui représente le larynx. Alors deux cas se présentent : ou la vocable est fixe, comme l'a dit Helmholtz; alors on entendra la voyelle avec toutes les notes; ou, comme je l'ai dit, la vocable est fonction de la note, et pour A, par exemple, dont la vocable serait $si\flat_4$, le meilleur A sera celui qui sera prononcé sur le troisième sous-harmonique, c'est-à-dire $\frac{si\flat_4}{3}$ ou une

---

[1] Note à l'Académie des Sciences, 13 mars 1899.

note voisine de mi_3. C'est la deuxième hypothèse qui est la vraie.

Avec les notes basses on entend AN ; le meilleur A est sur une note voisine de mi_3, et, quand on arrive à la quatrième octave, on n'entend plus que la note (chose importante pour la diction des chanteurs). Pour OU et O, on obtiendrait des résultats analogues : le meilleur O est le deuxième sous-harmonique de $si\flat_3$: le meilleur OU est donné sur une note voisine de $si\flat_2$.

On peut faire vibrer le résonateur sur une note quelconque, même discordante avec lui : la note du diapason n'est jamais changée.

Troisième expérience. — L'on interpose entre le diapason et le résonateur une membrane de caoutchouc, non tendue, qui transmet toutes les vibrations, mais empêche le passage de l'air; la voyelle perd beaucoup de son intensité, mais elle est encore perçue par l'oreille.

Quatrième expérience. — Si l'on prend les tracés des voyelles synthétiques ainsi obtenues, on obtient toujours pour le diapason une sinusoïde et pour les vibrations du diapason qui ont traversé le résonateur un groupe de trois pour A, de deux pour O, de une pour OU, la note étant représentée par le nombre de groupes : les tracés des voyelles synthétiques sont donc identiques aux tracés des voyelles ordinaires (*fig.* 29).

Conclusion. — Il est donc très facile d'obtenir les voyelles OU, O, A, avec un résonateur quelconque que l'on met en vibration au moyen d'une série de diapasons à anche donnant différentes notes; c'est, somme toute, une petite trompette dont le pavillon est le résonateur.

Malheureusement il m'a été absolument impossible d'obtenir par ce procédé É et I; peut-être cela tenait-il à ce fait que mes diapasons ne donnaient pas de note supérieure à mi_4 ? En tout cas, d'autres expériences étaient nécessaires.

Deuxième méthode. — Expérience avec une sirène. — Il s'agit de prouver maintenant d'une façon indiscutable que les tracés si simples que j'ai obtenus par les méthodes précédentes sont exacts; pour cela, il faut faire la synthèse des voyelles en s'appuyant uniquement sur mes résultats.

J'ai décomposé l'appareil vocal en ses éléments : bouche, pharynx, ventricules de Morgagni, cordes vocales inférieures, et j'ai cherché le rôle de chacun d'eux dans la formation de la parole.

a) *Bouche* [1]. — J'ai pu arriver, grâce à l'aide de mon confrère M. Roussel, à mouler l'intérieur complet de la cavité buccale en lui conservant la forme qu'elle prend lorsqu'on prononce la voyelle (*fig.* 30).

Si l'on fait arriver dans ce résonateur un courant d'air continu sous une pression assez faible (7 centimètres d'eau), on retrouve immédiatement le timbre de la voyelle chuchotée correspondante.

De plus, on détermine la note rendue soit à l'oreille, soit, ce qui est plus précis, en faisant arriver l'air qui a traversé le résonateur sur la membrane d'une capsule manométrique dont on photographie la flamme suivant la méthode ordinaire. Les résultats sont les suivants :

	OU	O	A	É	I
1er moulage.	$ré_3$	fa_3	sol_3	si_3	$ré_4$
2e moulage.	si_2	sol_3	la_3	ut_4	si_3

Les notes se rapprochent beaucoup de celles trouvées par Lefort; on voit qu'elles ne sont pas constantes, puisqu'avec d'autres moulages faits dans les mêmes conditions on a obtenu des notes différentes, et cependant le courant d'air continu reproduit toujours la voyelle chuchotée. Ceci confirme le résultat énoncé par moi, à savoir que la vocable, c'est-à-dire la note produite par le résonateur buccal, est variable pour une même voyelle et un même sujet. Si, au lieu d'un courant d'air continu, on fait passer un courant d'air qui a traversé un diapason à anche, on obtient les groupes caractéristiques des voyelles, la note du diapason étant toujours représentée par le nombre de groupes; mais ces groupements restent toujours soumis aux lois que j'ai indiquées plus haut.

En résumé, un courant d'air continu devient discontinu en passant à travers la cavité buccale, et ce résonateur seul suffit pour produire la voyelle chuchotée; la voyelle devient sonore si le courant d'air a traversé le larynx.

b) *Ventricules de Morgagni.* — Cherchons maintenant le rôle des ventricules de Morgagni. Je les ai fait construire en suivant exactement les dimensions indiquées par Sappey.

Pour éviter toute cause d'erreur, la membrane de la capsule manométrique était directement au contact de l'air extérieur.

---

[1] Société de Biologie, 25 novembre 1899.

Le diapason la_3, qui donne 435 flammes simples à la seconde, donnait, après le passage de l'air à travers les ventricules, 435 groupes de 3 flammes; donc la note restait la même, mais le timbre était profondément modifié; les groupes restaient de trois flammes différentes des premières si un ventricule était supprimé; mais, si les deux étaient bouchés de manière à laisser les cordes vocales supérieures seules, on obtenait 435 groupes de 2 flammes.

En résumé, les ventricules modifient profondément le tracé du diapason; mais, comme le veut Guillemin, ils ne peuvent pas engendrer seuls la voyelle; tout au plus pourrait-on dire que c'est à leur forme qu'est dû le timbre spécial de chaque voix.

c) *Cordes vocales inférieures* [1]. — Je les ai remplacées par une sirène mise en mouvement au moyen d'une courroie sans fin et d'une dynamo (110 volts, 0,7 ampère). Le plateau inférieur était percé d'une seule fente triangulaire, représentant l'espace inter-glottique (*fig.* 31 et 32); le plateau supérieur était percé de fentes égales et dirigées suivant les rayons du disque mobile; ce plateau était renfermé dans une petite caisse cylindrique, de hauteur négligeable, et l'air s'échappait par un tube perpendiculaire et placé au-dessus de la fente fixe.

Pour reproduire A, il suffit d'avoir trois fentes ouvertes (*fig.* 38), séparées par une fente fermée, de manière à obtenir un groupement de trois vibrations; le nombre total de vibrations représente la vocable, le nombre de groupes de trois représente la note fondamentale, le tracé l'indique très nettement; si l'on place au-dessus du tube un des moulages en plâtre correspondant à A, la voyelle est beaucoup plus parfaite, mais il faut que la note de ce résonateur soit à l'unisson avec la vocable, c'est-à-dire avec la somme des vibrations du larynx; s'il n'en est pas ainsi, la voyelle est encore perçue; mais ce n'est plus le même A, et le tracé, tout en conservant ses parties fondamentales, est modifié.

Pour obtenir É et O (*fig.* 36 et 37), il faut que les fentes du plateau mobile soient réunies par groupes de deux, séparés par une fente bouchée; pour passer de É à O, on doit modifier la fente fixe; cette fente est très large pour O et très étroite pour É. Les tracés sont les mêmes qu'avec les voyelles naturelles, et les conditions sont les mêmes que pour A, c'est-à-dire que la note est représentée par le nombre de groupes et la vocable par le nombre total de vibrations.

---

[1] *Conférences à la Sorbonne*, 1900.

Pour obtenir I et OU (*fig.* 34 et 35), il faut que toutes les fentes soient ouvertes sans intervalle; mais, pour passer d'une voyelle à l'autre, il faut faire varier la largeur de la fente, qui est large pour OU, étroite pour I.

Cette synthèse complète de toutes les voyelles constatées, non seulement par l'oreille, mais par leurs tracés, permet donc d'établir la théorie suivante :

Pour former une voyelle, les cordes vocales inférieures vibrent dans un plan horizontal, de manière à empêcher par leur rapprochement la sortie de l'air. S'il y a un groupe de trois vibrations, séparé par un repos du groupe suivant, on a fatalement un A, *quelle que soit la note.*

Le résonateur buccal se met à l'unisson de la somme des vibrations et la voyelle est bien émise. Autrement dit, si A est émis sur la note n, il faut que le résonateur donne le troisième harmonique de cette note; sinon, la voyelle existe encore, mais elle est modifiée. Pour É et O, il faut que les résonateurs donnent le deuxième harmonique; pour passer d'une voyelle à l'autre, il suffit de changer la largeur de la fente glottique.

Pour I et OU, il faut que le résonateur soit à l'unisson de la note laryngienne; pour passer d'une voyelle à l'autre, on doit changer l'espace inter-glottique : le résonateur buccal pour OU étant sur une note basse, OU est meilleur sur les notes basses ; pour la même raison, I est meilleur sur les notes aiguës.

Tracés des voyelles synthétiques. — J'ai obtenu avec les capsules manométriques les tracés des voyelles synthétiques.

La sirène, quand elle est seule, donne des tracés à une flamme (I, OU), à deux flammes (É, O), à trois flammes (A) (*fig.* 39).

Si l'on ajoute les moulages en plâtre représentant la cavité buccale (*fig.* 40, 41), les groupements sont beaucoup plus nets, et ils acquièrent leur perfection lorsqu'on se trouve exactement dans les conditions énoncées plus haut; je les rappelle :

Pour A, si la note fondamentale est n, il faut que le résonateur buccal donne la note $3n$.

Pour É et O, si la note fondamentale est n', il faut que le résonateur buccal donne la note $2n'$.

Enfin pour I et OU il faut que le résonateur soit à l'unisson.

S'il n'en est pas ainsi, la voyelle est encore perçue par l'oreille, mais son tracé est profondément modifié; par exemple, si la sirène

donne la voyelle A et si le plâtre correspond à la voyelle OU, on entend un A modifié (*fig.* 42), mais on a des groupements de quatre flammes.

D'une façon générale, on peut reconnaître la voyelle émise par la sirène, quelle que soit la forme de la cavité buccale qui est au-dessus, mais la voyelle n'a plus le même tracé et ne produit pas la même impression sur l'oreille.

Ceci confirme absolument l'opinion du professeur de chant M. Lefort, qui disait qu'une voyelle mal émise était une voyelle pour laquelle la bouche n'avait pas la forme voulue; nous insisterons sur ce point dans les applications.

Autres voyelles. — Il est évident qu'il y a une infinité de voyelles différentes; celles que nous avons étudiées, OU, O, A, É, I, ne forment qu'un cadre dans lequel les autres peuvent trouver place.

Les autres voyelles dépendent des différentes formes que peuvent prendre les résonateurs supra-laryngiens; il est évident qu'un A laryngien émis sur la note $ré_3$ ne produira pas la même impression sur l'oreille, si les vibrations traversent des résonateurs donnant la note $si\flat_4$ ou $si\flat_2$; dans le premier cas on a un tracé à trois périodes, dans le second un tracé à quatre périodes; l'impression sur l'oreille ne doit donc pas être la même.

Quant au timbre spécial à chaque voix, il dépend probablement de la largeur de la fente glottique, de la tension des cordes vocales, de leur largeur, du volume des ventricules de Morgagni, quantités essentiellement variables, non seulement avec chaque individu, mais encore avec l'état actuel de ses muqueuses.

Définition. — *Les voyelles sont dues à une vibration aéro-laryngienne intermittente, renforcée par la cavité buccale et produisant OU, O, A, É, I, lorsque celle-ci se met à l'unisson avec la somme des vibrations; transformée par elle, et donnant naissance aux autres voyelles, lorsque cet unisson n'existe pas; le nombre des intermittences donne la note fondamentale sur laquelle la voyelle est émise.*

Si la cavité buccale fonctionne seule, on a la voyelle chuchotée.

Si le larynx fonctionne seul, on a la voyelle chantée.

Si les deux fonctionnent en même temps, on a la voyelle parlée.

V

APPAREILS VOCAL ET AUDITIF

Il s'agit de voir si ces expériences ne se trouvent pas en contradiction avec les dispositions anatomiques du larynx et de l'oreille.

1° **Le larynx.** — Tous les muscles intrinsèques du larynx, sauf deux, sont des adducteurs, c'est-à-dire qu'ils tendent à rétrécir plus ou moins l'espace compris entre les cordes vocales à travers lequel l'air s'échappe; ces muscles sont : 1° les deux *crico-thyroïdiens*, innervés par la branche externe du laryngé supérieur, branche du nerf vague (*fig.* 43);

2° Les deux *crico-aryténoïdiens* latéraux;

3° L'*ary-aryténoïdien*, dont les fibres ont trois directions différentes, ce qui pourrait le faire considérer comme un triple muscle;

4° Les deux *thyro-aryténoïdiens*, qui bordent les cordes vocales supérieures et inférieures.

Ces neuf muscles sont des adducteurs, et, sauf les deux premiers, ils sont sous la dépendance du laryngé inférieur ou nerf récurrent.

Les deux seuls muscles, qui tendent à ouvrir la glotte et soient des adducteurs, sont les deux crico-aryténoïdiens postérieurs.

Cette disposition anatomique se comprend facilement si on se rappelle qu'à l'état de repos la glotte est largement ouverte, tandis que, dans la phonation ou le chant, elle est plus ou moins fermée; à la période de repos correspondent deux muscles, à la période de travail neuf muscles; tous tendent à rétrécir plus ou moins l'espace glottique et à lui donner des formes différentes correspondant aux différentes voyelles.

Quant à la cavité buccale, elle peut renforcer tous les sons compris dans l'étendue de quatre octaves; on peut ainsi obtenir une infinité de voyelles différentes en combinant les vibrations du larynx avec celles du résonateur buccal.

Les expériences de synthèse ne sont donc pas en contradiction avec la disposition anatomique du larynx et des cavités supra-laryngiennes.

2° **Oreille.** — Voyons maintenant ce que l'oreille inscrit. Les expériences ont été faites par M. Samojloff au laboratoire de Kœnigsberg.

Ce savant a opéré avec une méthode excessivement élégante : il a remplacé la capsule manométrique par l'oreille moyenne, le tympan est la membrane vibrante. Il opère de la façon suivante.

Au moyen d'une sonde bifurquée, il fait passer un courant de gaz d'éclairage rendu photogénique dans la trompe d'Eustache et l'oreille moyenne d'un chien.

L'extrémité libre de la sonde est recourbée et effilée ; on allume le gaz et l'on photographie la flamme sur une plaque mobile ; les résultats sont les mêmes que ceux obtenus par moi au moyen des capsules de Kœnig et de l'acétylène. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer les figures ci-jointes (*fig.* 22).

Le tympan agit donc comme une capsule manométrique et les impressions sont identiques.

Mes expériences ne sont donc pas en contradiction avec la disposition anatomique de l'oreille.

VI

APPLICATIONS

1° On pourrait modifier comme je viens de l'indiquer les *sirènes des navires*, et l'on obtiendrait des signaux différents, ce qui permettrait un alphabet international.

2° On pourrait former un *acoumètre type* avec une sirène construite dans des conditions déterminées et donnant un A sur une note n avec un courant d'air de pression h; le résonnateur donnerait la note $3n$.

3° Les *cornets acoustiques ordinaires* fatiguent l'oreille parce qu'ils modifient les groupements que l'oreille est destinée normalement à recevoir.

4° D'après Lefort, on peut *chanter* n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note comprise dans le registre de la voix, à la condition de bien émettre la voyelle, c'est-à-dire de donner à la cavité buccale la forme voulue. Nous avons vu en effet que pour A il faut que la cavité renforce le troisième hármonique supérieur de la note; pour É et O, le deuxième harmonique supérieur; pour I et OU, il faut que la cavité buccale soit à l'unisson avec la note. S'il n'en est pas ainsi, la cavité buccale transforme le tracé de la voyelle, et l'impression qu'elle produit sur l'oreille (*fig.* 32) : on *chante mal*,

parce que la voyelle est mal émise; on *chante faux*, lorsque les périodes laryngiennes ne se suivent pas régulièrement; par exemple, pour A, lorsque de *n* en *n* périodes il y a une vibration simple. Il est très facile de faire chanter faux la sirène, en bouchant un ou deux trous d'un groupe du plateau mobile.

De toutes les méthodes de chant celle de ce professeur me semble la plus scientifique, et Lefort a eu le mérite de découvrir, il y a quinze ans, par la pratique, une vérité que les expériences scientifiques ont vérifiée plus tard.

5° Les *sourds-muets*, au début de leur éducation, prononcent chaque voyelle sur une note différente, très grave pour OU, de plus en plus aiguë pour les voyelles suivantes O, A, É, I. Ceci tient simplement à la façon dont on leur apprend à parler; pour OU, par exemple, on fait donner à leur cavité buccale une forme type voisine de $si\flat_2$, naturellement ils se mettent à l'unisson et donnent une note grave.

Au contraire, pour I, leur résonateur buccal renforce une note aiguë, alors ils émettent I sur une note aiguë.

6° Il arrive souvent que l'on est pris d'une *aphonie subite;* il n'y a aucune lésion apparente, sauf un peu de rougeur au niveau de la région interaryténoïdienne; ceci s'explique, si l'on se rappelle que les muscles interaryténoïdiens sont des adducteurs; par conséquent, l'adduction se faisant mal, la phonation n'existe plus.

7° Il y a un grand nombre d'autres *applications médicales*, qui ne sauraient trouver place dans ce travail.

APPAREILS GRAPHIQUES ORDINAIRES

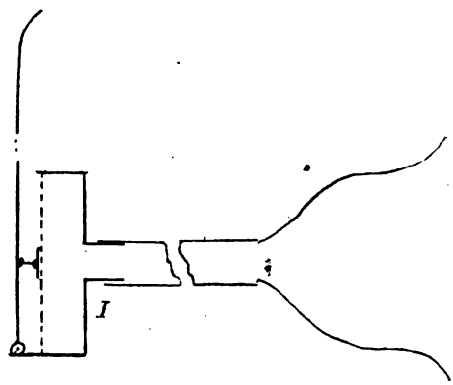


Fig. 1. — Appareil graphique à levier ordinaire.

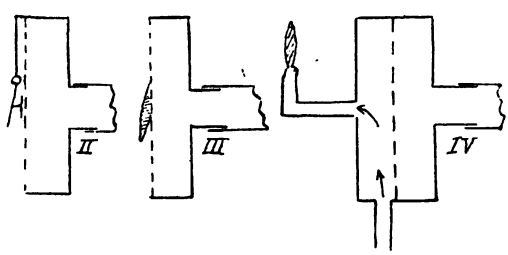


Fig. 2. — Appareils graphiques à levier modifié.

II, levier remplacé par un miroir et un rayon lumineux;
III, levier remplacé par un style (phonographe);
IV, levier remplacé par une flamme (capsule manométrique).

INFLUENCE DE L'EMBOUCHURE

Grossissement : 5 diamètres

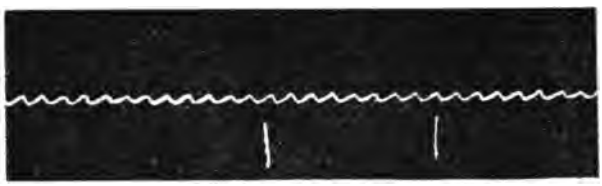


FIG. 3. — La_3 sans embouchure (870).

FIG. 4. — La_3 avec embouchure (870).
La note est représentée par le nombre de groupes.

FIG. 5. — OU.

FIG. 6. — O.

FIG. 7. — A.
OU,O, A avec une embouchure. (Comparer avec la figure 13.)

INFLUENCE DU TUBE

Grossissement : 10 diamètres

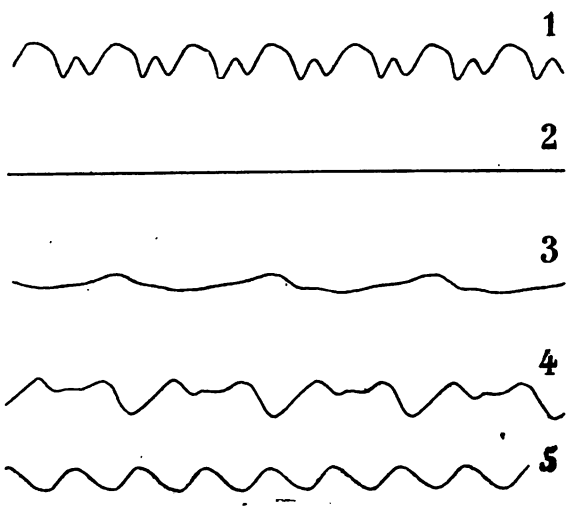


Fig. 8. — La_3 avec un tube de plus en plus court.

1 La_3 avec un tube de 0m,60 de longueur.
2 » 0m,30 »
3 » 0m,15 »
4 » 0m,075 »
5 Sans tube (870 vibrations simples).

La hauteur et le timbre du son se trouvent donc changés.

INFLUENCE DU LEVIER

Grossissement : 5 diamètres

FIG. 9. — La_3, 45 vibrations (levier : 0m,09 de long).
On retrouve 870 vibrations en faisant la somme des vibrations partielles.

FIG. 10. — La_3, 50 vibrations (levier : 0m,06 de long).
On retrouve 870 vibrations en faisant la somme des vibrations partielles.
Si on annule l'influence du levier, on obtient la figure 15.

FIG. 11. — Tracé de O avec un levier donnant les vibrations propres (non grossi).
(Le tracé, à cause de sa longueur, a été coupé en deux parties.)
Les vibrations partielles, très visibles au microscope sur l'original, sont beaucoup moins apparentes sur le cliché.

APPAREILS GRAPHIQUES MODIFIÉS

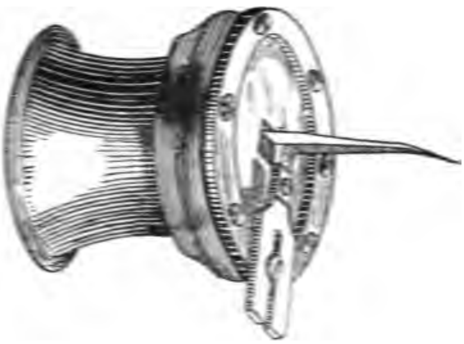
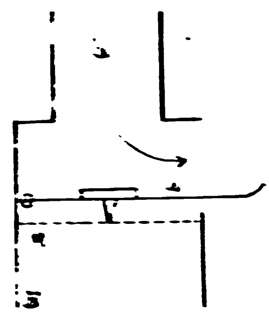


Fig. 12. — Appareil inscripteur de Schneebeli.

Dans l'appareil de Samojloff, le levier est remplacé par un miroir et l'embouchure est un tronc de cône.

Fig. 13. — Appareil graphique dont les vibrations du levier L sont amplifiées. L'embouchure, le tube et la chambre à air sont supprimés [illegible] ME [illegible] figure suivante.



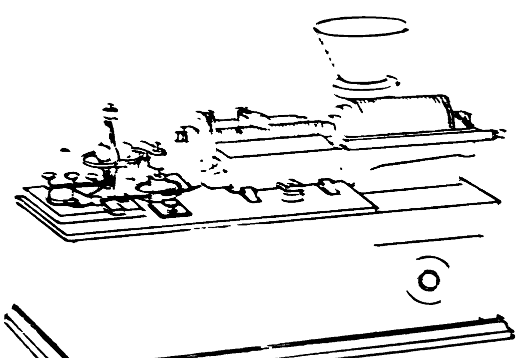


Fig. 14. — Phonographe modifié.

Le cylindre se déplace sur la vis N. Tube ni chambre à air; embouchure en tronc de cône de hauteur très faible par rapport aux bases.

EXPÉRIENCES D'ANALYSE

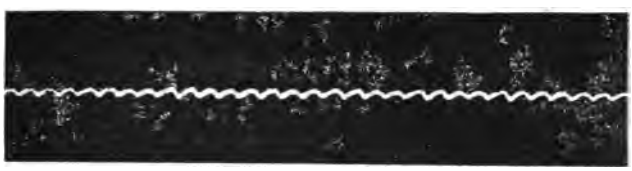


FIG. 15. — La_3, 870 vibrations (levier de $0^m,04$ à vibrations amorties).

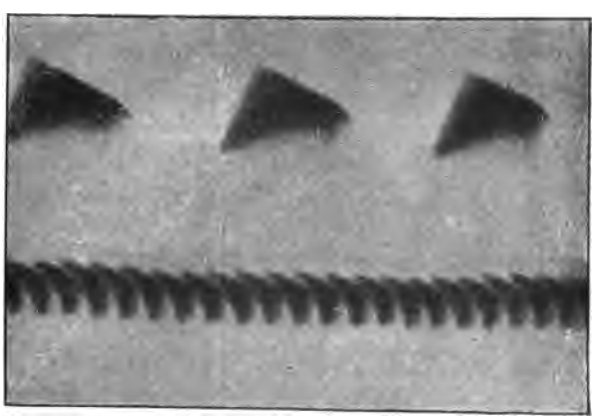


FIG. 16. — A la partie supérieure, flamme chronométrique vibrant à $\frac{1}{54}$ de seconde; en bas, diapason à anche la_3.

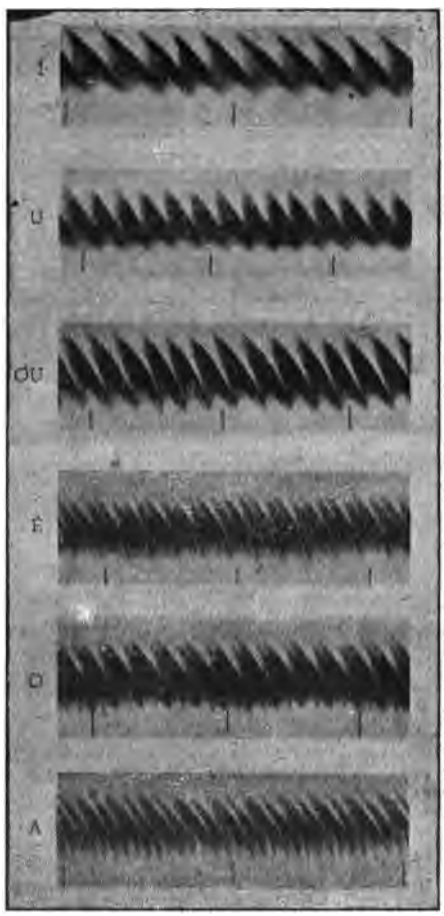


Fig. 17. — Flammes caractéristiques des voyelles (les causes d'erreur étant supprimées).
(Distance des traits : $\frac{1}{54}$ de seconde.)

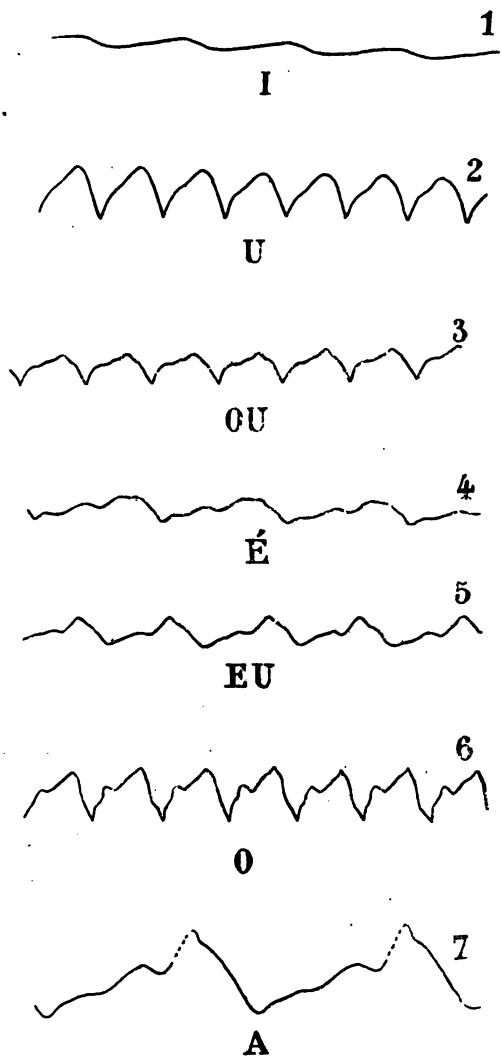


Fig. 18. — Tracés des voyelles (les causes d'erreur étant supprimées).
Grossissement : 5 diamètres.

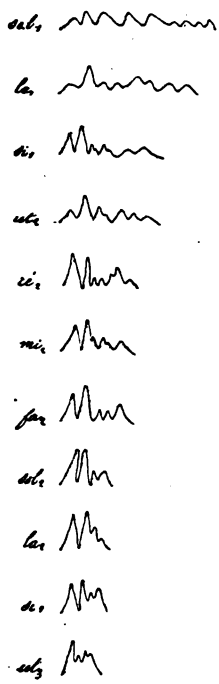


Fig. 19. — Voyelle A, d'après Hermann.
(Phonographe.)

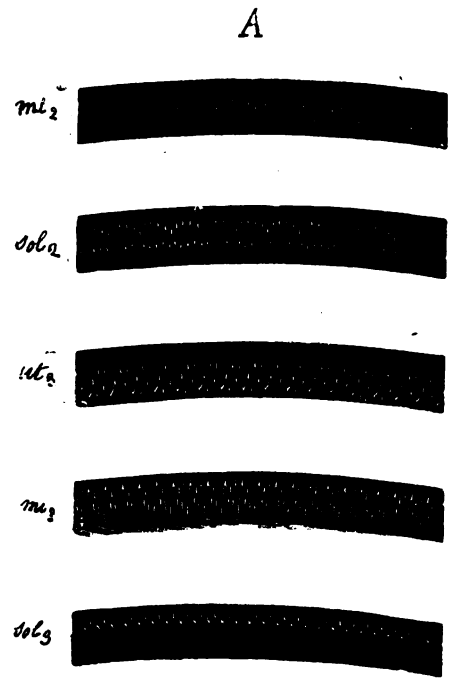


Fig. 20. — Voyelle A, d'après Samojloff (appareil *fig.* 3). Pour les notes ut_3, mi_3, sol_3, les groupements à trois périodes sont très nets.

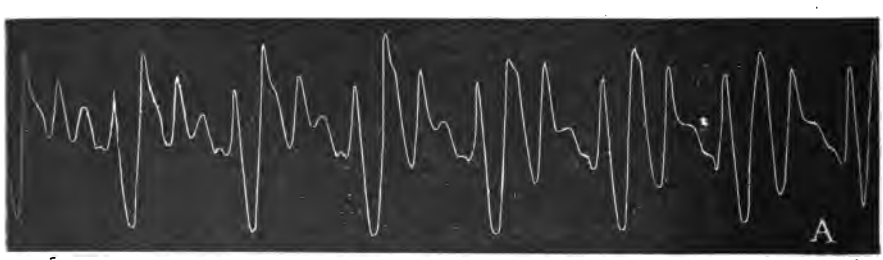


Fig. 21. — Voyelle A, d'après Hermann (note mi_2).

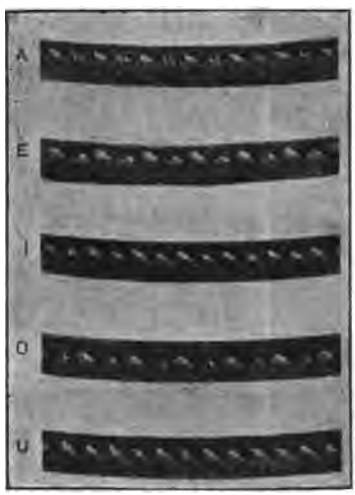


Fig. 22. — Flammes des voyelles, l'oreille moyenne d'un chien servant de capsule manométrique (Samojloff).

(Comparer avec la figure 17; U est le OU allemand.)

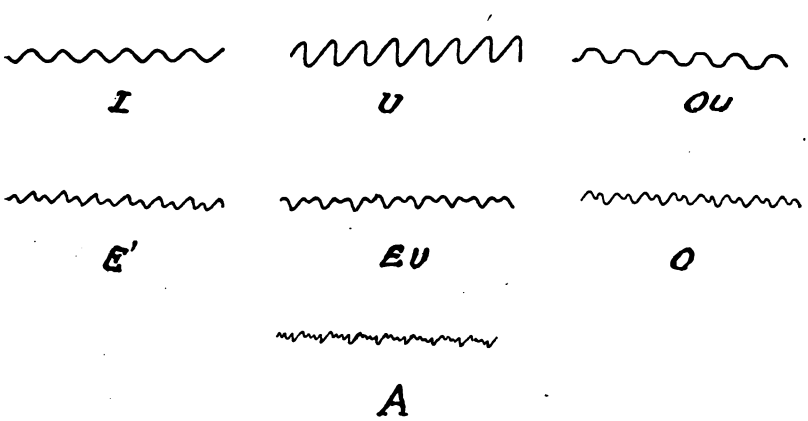


Fig. 23. — Tracé des voyelles d'après Schneebeli. (Comparer avec la figure 18.)

VOYELLES PARLÉES ET CHANTÉES (Phonographe)

Grossissement : 5 diamètres

Fig. 24. — É chanté.

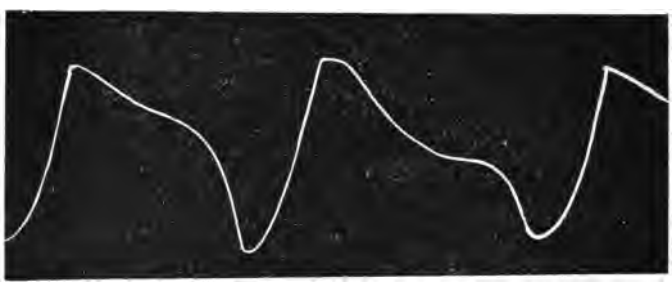


Fig. 25. — É parlé.

Fig. 26. — A chanté.

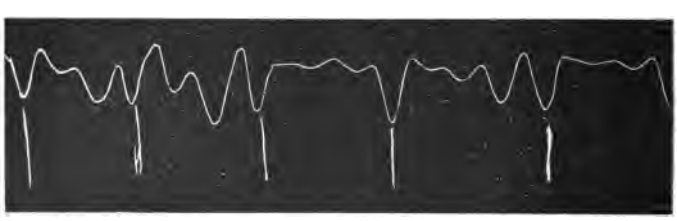


Fig. 27. — A parlé.

EXPÉRIENCES DE SYNTHÈSE

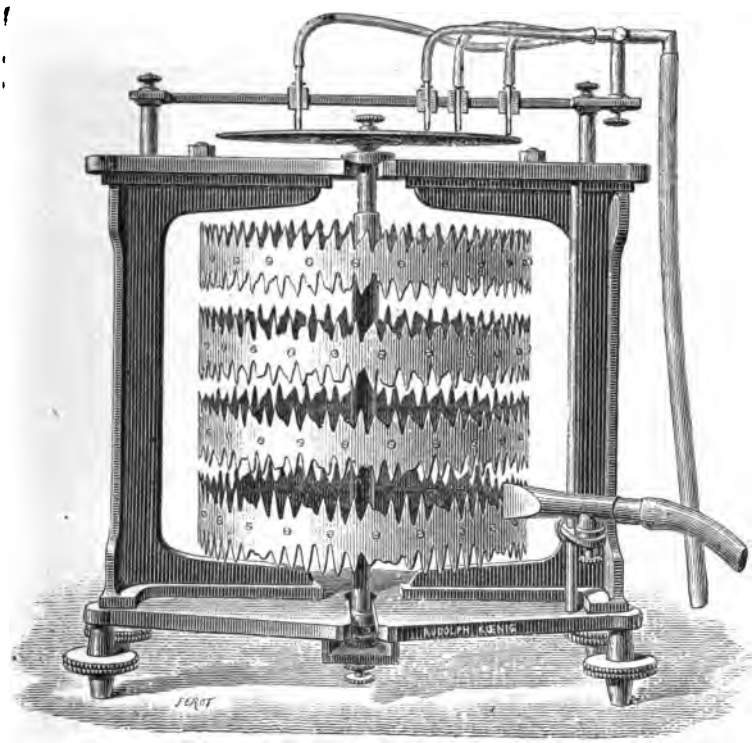


Fig. 28. — Sirène à ondes.

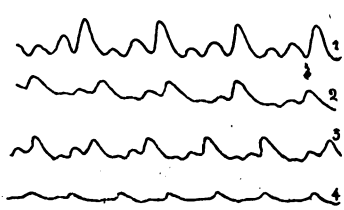


Fig. 29. — A *synthétique* (grossissement : 5 diamètres).
Pris un peu après le début (1); au milieu (2, 3); à la fin (4) du tracé.
(Se lit de droite à gauche.)
La vitesse du cylindre va en diminuant.

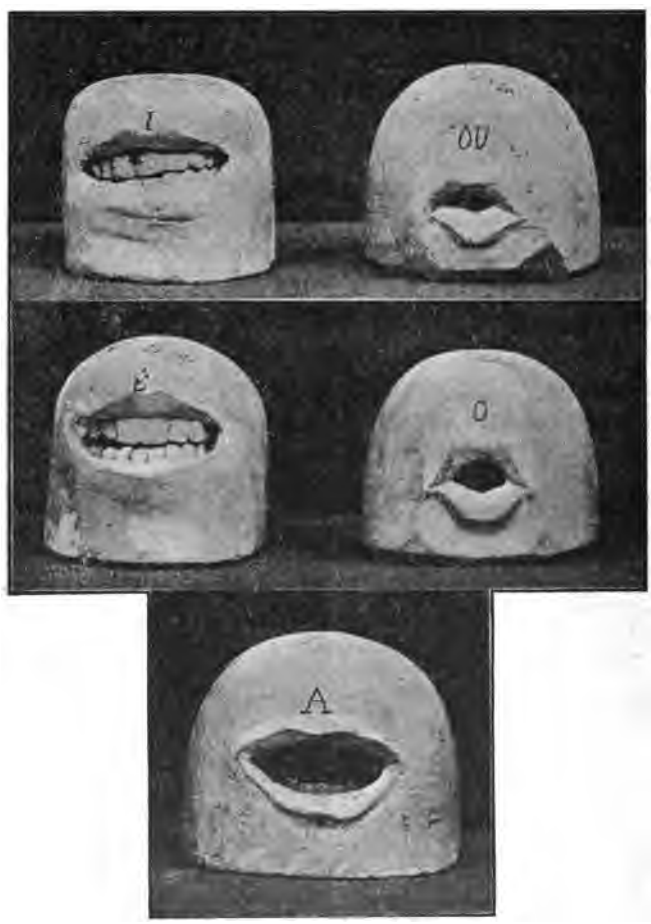


Fig. 30. — Moulages de la cavité buccale prononçant une voyelle et donnant, par courant d'air continu, la voyelle *chuchotée*.

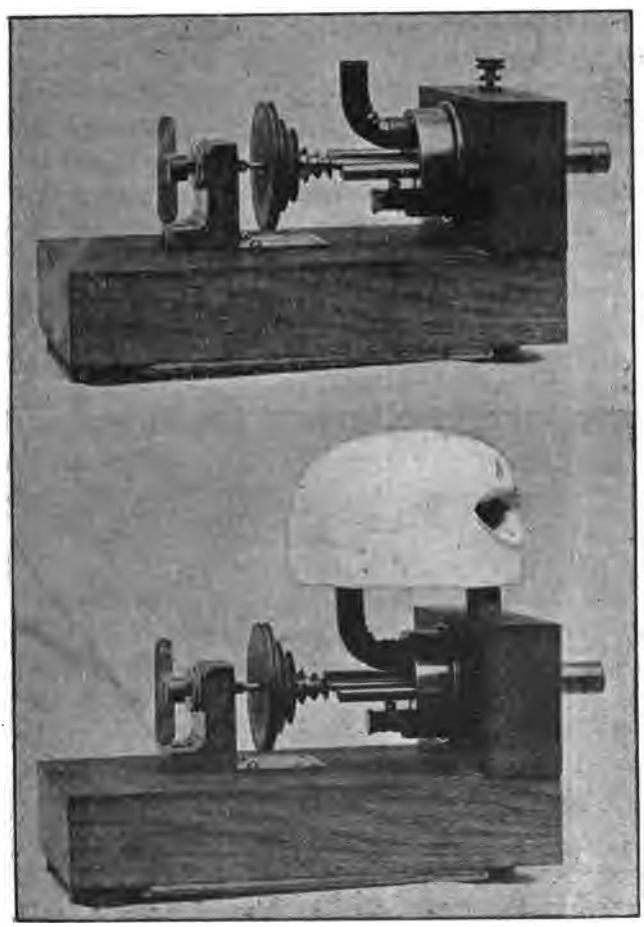


Fig. 31. — Sirène donnant : en haut, la voyelle *chantée ;*
En bas, la voyelle *parlée*, lorsque l'air vibrant traverse un moulage.

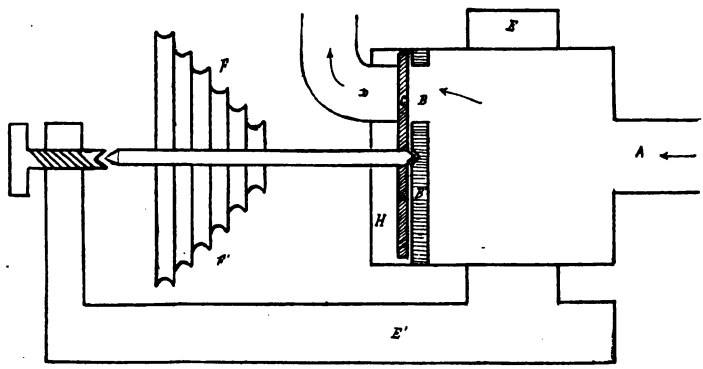


Fig. 32. — Coupe de la sirène.

A, arrivée de l'air. — BB', plateau fixe percé d'un seul orifice B. — C, plateau mobile. — D, sortie de l'air vibrant. — EE', bâtis en bois. — FF', poulies. — H, chambre à air pouvant s'enlever.

J'ai fait construire un appareil composé de cinq sirènes, marchant ensemble et donnant chacune des voyelles OU, O, A, É, I, quand on tourne un robinet.

Fig. 33. — Tracé de la voyelle synthétique O.

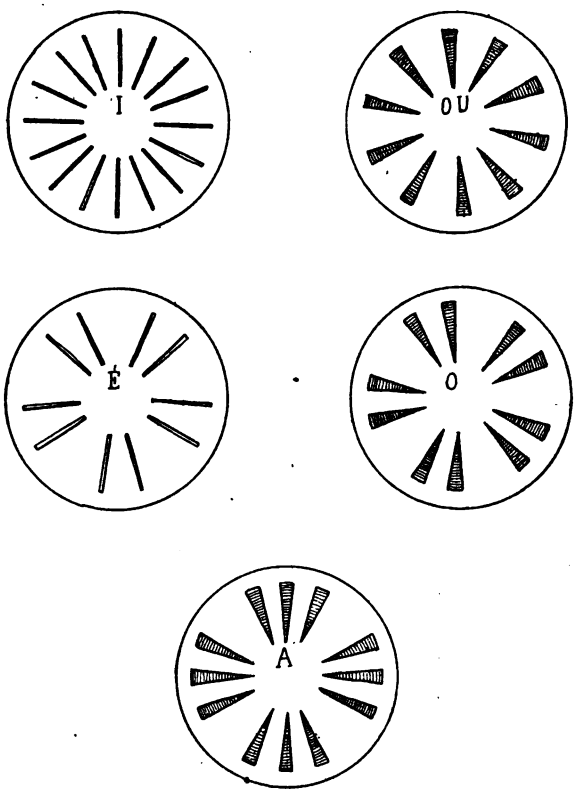
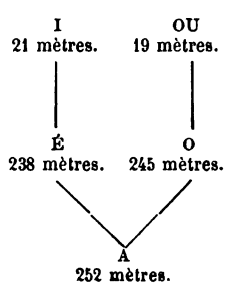


FIG. 34, 35, 36, 37, 38. — Plateaux mobiles donnant les différentes voyelles chantées.

DISTANCE MAXIMA A LAQUELLE ON ENTEND UNE VOYELLE (WOLF)



FLAMMES DES VOYELLES SYNTHÉTIQUES

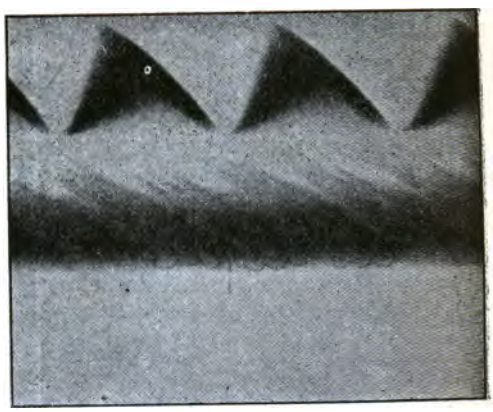


FIG. 39. — Flamme de A avec la sirène seule, note n; groupements peu nets (voyelle chantée).

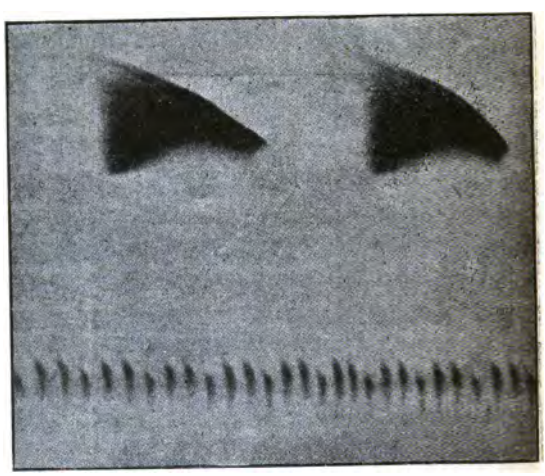


FIG. 40. — Flamme de A avec sirène sur la note n' et résonateur donnant exactement la note $3n'$; groupements très nets (voyelle très bien parlée). (Comparer avec la figure 29.)

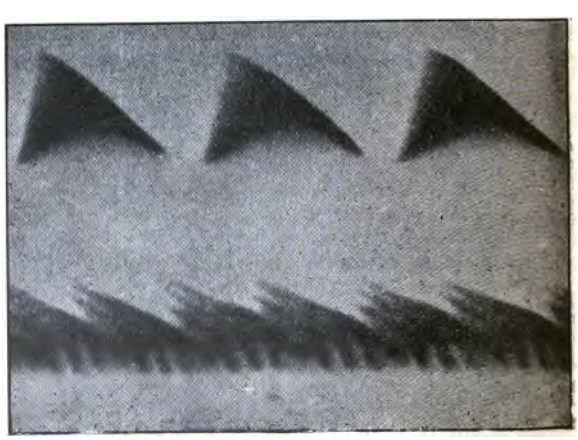


FIG. 41. — Flamme de A avec sirène sur la note n', et moulage donnant une note *voisine* de $3n$; groupements moins nets (voyelle moins bien parlée).

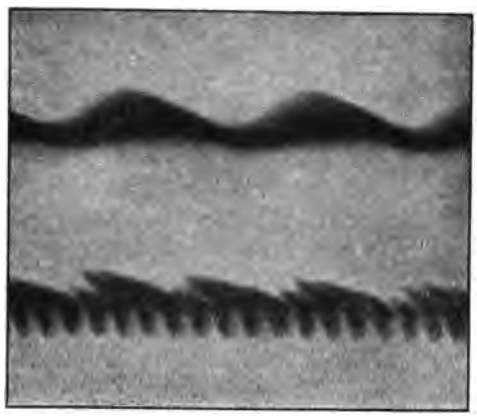


Fig. 42. — Flamme de A avec sirène donnant la note *n*, et moulage correspondant à la voyelle OU. (Voyelle très mal parlée, tenant de A et de OU.)

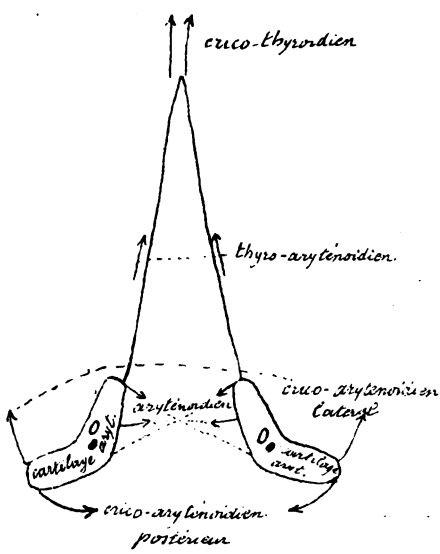


Fig. 43. — Action des muscles intrinsèques du larynx.

O, point fixe du levier représenté par le cartilage aryténoïde.

Appareil pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques;

Par M. A. Cotton[1].

I. — Les appareils employés pour la mesure directe, en valeur absolue, des champs magnétiques, se rattachent à deux méthodes distinctes.

Dans la première méthode, on utilise un phénomène d'induction produit par le déplacement dans le champ d'un conducteur mobile. On mesure alors : soit la quantité d'électricité mise en mouvement lors du déplacement (emploi d'une bobine retournée dans le champ, ou tirée hors du champ, et d'un galvanomètre balistique); soit la force électromotrice qui correspond à une vitesse connue d'une portion de conducteur appareil de M. Bouty [2].

Dans la seconde méthode on mesure l'action mécanique exercée par le champ sur un circuit mobile parcouru par un courant connu. Cette méthode de mesure exige seulement, comme appareil de mesure électrique, un ampèremètre étalonné : or le champ est le plus souvent créé lui-même par un courant dont il faut connaître la valeur [3].

Cette seconde méthode a été appliquée par différents physiciens. Certains d'entre eux (Stenger, K. Angström) ont employé une bobine placée dans le champ et qui tend à se renverser sous l'action de celui-ci : ce procédé n'est plus applicable lorsque l'entrefer est étroit. D'autres ont cherché à réaliser un *élément de courant* placé dans le champ à étudier : MM. Leduc, Houllevigue, Miot, etc., ont utilisé à cet effet le galvanomètre à mercure de M. Lippmann en déterminant aussi exactement que possible, pour les mesures absolues, l'*épaisseur* de la cuve [4]. D'autre part, M. Eric Gérard a décrit un *mesureur de champs magnétiques*, où une partie d'un fléau de balance est parcouru par un courant qui lui arrive par des fils souples. Ce fléau est engagé dans le champ, et l'action qui s'exerce sur lui est mesurée par des ressorts

---

(1) Séance du 20 avril 1900.

(2) Bouty, *Journal de Phys.*, 3e série, t. VII, p. 253; 1898.

(3) De plus, comme on le verra, on peut souvent utiliser le même courant pour exciter l'électro-aimant et pour mesurer le champ.

(4) Au plus égale à la distance entre les pièces polaires.

tarés au préalable : c'est à ce dernier appareil que se rattache plus particulièrement celui dont je vais indiquer le principe [1].

II. — Imaginons un champ magnétique, uniforme, d'intensité $\mathcal{H}$ C. G. S. et un *élément de courant* de longueur l centimètres, d'intensité i ampères, dirigé perpendiculairement aux lignes de force du champ. Pour fixer les idées, les lignes de force seront horizontales et perpendiculaires au plan de la figure et l'élément de courant sera situé horizontalement dans ce plan. Sur cet élément s'exerce une force perpendiculaire au plan passant par le courant et par les lignes de force, qui sera, par conséquent, dans le cas que j'ai supposé, verticale. La valeur de cette force est

$$\frac{\mathcal{H}li}{10} \text{ dynes,}$$

ou bien

$$f = \frac{\mathcal{H}li}{10.981} \text{ grammes [2].}$$

Tout se passe donc comme si le poids de l'élément de courant était augmenté (ou diminué, suivant le sens du courant) de f grammes.

Si, par exemple, le champ est de 10.000 C. G. S., la longueur l de 1 centimètre, le courant i de 1 ampère, la force f dépasse quelque peu, comme on le voit, 1 gramme. On pourra donc la mesurer *directement*, et avec précision, *avec une balance*.

Si le champ est plus faible, la mesure se fera encore avec précision, même sans employer une balance très sensible, *si l'on peut augmenter la valeur de la longueur l ou l'intensité du courant i*. C'est ce que j'ai cherché à réaliser. J'y suis arrivé en employant, non pas un élément de courant mobile, mais une sorte de bobine plate, pouvant être formée de *plusieurs* spires, et disposée de telle manière que, seule, l'action exercée par le champ *sur un de ses côtés* intervienne dans la mesure.

III. — Un dispositif qui se présente tout naturellement à l'esprit

---

(1) Sous sa forme actuelle, il ne convient qu'aux champs magnétiques dont les lignes de force sont voisines de l'horizontale, mais cette condition peut être facilement remplie par les appareils ordinaires de laboratoire (aimants ou électro-aimants).

(2) Je prends ici, pour la valeur de l'accélération de la pesanteur 981 centimètres par seconde. En réalité, c'est la valeur de g *au lieu où on opère*, qui intervient dans la formule. En comparant avec précision une action électromagnétique *bien constante*, à l'action que la terre exerce sur une masse connue, on pourrait faire des mesures relatives de l'accélération de la pesanteur aux différents points du globe. Cette remarque s'applique évidemment aux électrodynamomètres balances.

est le suivant : Imaginons (*fig.* 1) qu'on suspende à un plateau d'une balance hydrostatique [1] un cadre ABCD, de forme rectangulaire,

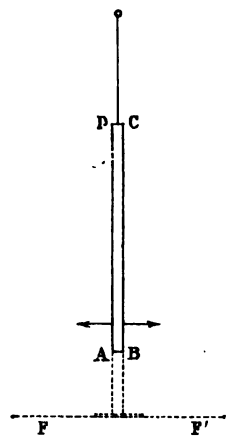


FIG. 1.

dont les côtés verticaux AD, BC soient très allongés. Le côté AB est placé dans le champ à mesurer de façon à couper les lignes de force à angle droit ; le côté CD est placé au-dessus et se trouve assez loin pour qu'on puisse négliger le champ qui existe dans cette région [2]. Supposons qu'un courant, arrivant par des fils souples attachés en C et D, circule dans le cadre : l'action exercée sur CD est négligeable, les actions subies par les côtés verticaux sont nécessairement des forces horizontales qui ne sont pas transmises par le fil de suspension ; il n'y a donc à considérer que l'action sur le côté AB : c'est la force f dont nous avons indiqué la valeur. Si l'on connaît la longueur l de AB, on aura immédiatement la valeur du champ en mesurant la force f, par la formule :

$$\mathcal{H} = \frac{10.981 f}{l \, . \, i}.$$

---

(1) Il est bon de munir la balance de deux butoirs avec lesquels on limite à son gré, la course du fléau. On peut, par exemple, employer deux vis à large tête dont la pointe est en haut, fixée aux deux bouts de la fourchette qui sert à supporter le fléau quand on ne s'en sert pas.

(2) On mesure en effet, en réalité, la *différence* entre les champs existant en AB et en CD. Si le champ en CD n'était pas négligeable, on pourrait le déterminer au préalable, mais il est facile d'employer une réglette assez longue pour rendre la correction négligeable.

Si le champ à mesurer, donné par un électro-aimant, est un peu intense, on peut employer une seule spire : on réalisera le circuit en prenant une longue réglette mince de bois [1], à bords bien parallèles, de largeur proportionnée à l'étendue des pièces polaires, et en appliquant soigneusement sur sa tranche une mince bande de cuivre recuit attaché ensuite. La mesure de l se fait alors très facilement : c'est la distance entre les deux côtés [2] : on mesure avec un pied à coulisse cette distance sur l'appareil construit et on retranche du nombre trouvé l'épaisseur de la bande de cuivre employée. Une largeur de l de l'ordre du centimètre se détermine ainsi facilement à moins de $\frac{1}{100}$.

Si le champ est plus faible, et s'il n'est pas très étendu, il sera cependant facile d'augmenter la longueur utile l, en enroulant sur la bobine plusieurs couches successives séparées par un ruban de soie [3].

L'appareil ainsi formé est très facile à construire, mais il présente un inconvénient. Lorsque le courant est lancé dans l'appareil, on voit parfois la bobine tourner autour du fil vertical qui la supporte ; ou bien elle est attirée par une des pièces polaires. Ces effets, comme on le comprend facilement, sont dus aux actions subies par les côtés BC, AD. Quand l'appareil est bien en place, les forces agissant sur ces côtés sont horizontales (et même peuvent s'équilibrer d'elles-mêmes), mais cette position est instable. On est alors conduit, pour maintenir la bobine dans le plan où elle doit se mouvoir, à lester l'appareil par un poids convenable placé en bas, et à munir, en outre, l'extrémité inférieure d'une tige aux deux bouts de laquelle viennent s'attacher deux fils horizontaux FF′, un peu fins, légèrement tendus, qui s'opposent aux mouvements de rotation (*fig.* 1). Les fils souples servant à amener le courant dans la bobine, dirigés perpendiculairement au plan de la figure et attachés en C et en D,

---

(1) Il faut paraffiner ou vernir le bois employé et toutes les substances hygrométriques employées.

(2) Il n'est pas nécessaire que AB soit exactement perpendiculaire aux côtés verticaux, ni même exactement rectiligne, puisqu'on peut (si le champ ne varie pas très vite autour de AB) imaginer qu'on remplace chaque élément de courant par ses composantes.

(3) Si la mesure directe de l devient difficile, on la fera par comparaison en plaçant successivement dans un même champ la bobine à mesurer et une bobine étalon à une seule spire.

concourent également à maintenir le plan de la bobine dans sa position normale.

IV. — Les fils FF′ doivent être placés horizontalement et doivent être réglés chaque fois qu'on a à déplacer l'appareil : c'est là un inconvénient. En outre, le courant arrivant par des fils souples ne peut être très intense.

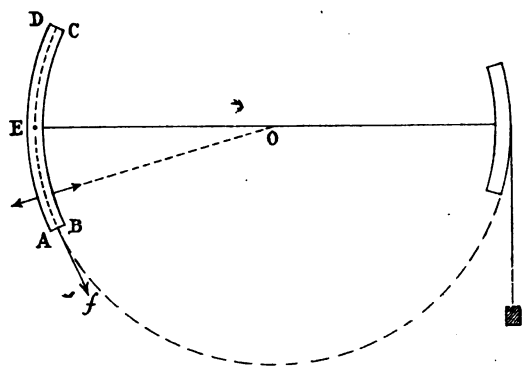


Fig. 2.

Aussi ai-je perfectionné l'appareil en employant un appareil d'exploration *fixé* au fléau de la balance (*fig.* 2). L'un des bras de ce fléau porte à son extrémité une *palette*, plate et mince, sur laquelle est placé le circuit ABCD. Pour éviter que les actions sur les grands côtés n'interviennent, je donne à ces côtés BC, AD la forme d'arcs de cercle dont le centre commun est en O, tandis que les petits côtés AB, CD sont dirigés approximativement suivant des rayons, le côté CD étant toujours placé assez loin pour que le champ agissant sur lui soit très faible.

Les forces agissant sur les côtés curvilignes sont, quel que soit le champ, normales à chaque élément du courant et rencontrent, par suite, l'axe de rotation. Ces forces n'auront aucun effet si cet axe est bien invariable. Pour que cette dernière condition soit remplie, le couteau central est un couteau long et échancré, dont les deux extrémités l'une en avant, l'autre en arrière du plan de la figure, reposent dans des rainures pratiquées dans la pièce servant de support.

D'autre part, le courant suit à l'aller et au retour des conducteurs fixés au fléau, les points d'arrivée et de sortie étant formés par deux

pointes de platine situées dans le prolongement de l'axe de rotation, et qui enfoncent quelque peu dans du mercure contenu dans des godets. La partie déformable du circuit est alors très près de l'axe, ce qui est évidemment la meilleure place; la balance garde à très peu près sa sensibilité, et, de plus, on peut employer des courants plus intenses qu'avec l'autre appareil.

Je n'insisterai pas ici sur les détails de construction de la bobine d'exploration : cet appareil, que l'on peut réaliser de diverses manières, peut avoir une épaisseur très réduite et convient bien alors à l'étude des champs lorsque l'entrefer est très étroit. J'ajouterai seulement qu'il est commode, pour faire la mesure de la force agissante, de placer les poids destinés à établir l'équilibre dans un plateau suspendu par un fil s'appuyant sur le pourtour d'un cercle ayant pour rayon la circonférence moyenne de l'arc employé comme bobine. Les poids mesurent alors directement la force cherchée, et, de plus, il n'y a pas à se préoccuper de l'horizontalité du fléau.

L'appareil que construit M. Pellin, représenté *schématiquement* par la *fig.* 3, porte deux arcs de même circonférence moyenne, mais correspondant à deux valeurs de l différentes, et dont on peut intervertir la position en retournant le fléau bout pour bout, le plateau étant toujours attaché au bras du fléau qui n'est pas parcouru par le courant.

V. — Quelle que soit la forme de l'appareil, on s'en sert par l'un ou l'autre des procédés suivants :

1° En procédant à *courant constant :* on lance dans le circuit mobile un courant connu, et on équilibre son action par des poids marqués. Il faut avoir soin d'établir, au préalable, l'équilibre de la balance, *après* avoir excité l'électro-aimant produisant le champ à mesurer, afin d'éliminer les très légères attractions ou répulsions que produisent le magnétisme ou le diamagnétisme des substances engagées dans le champ. Quand cela est possible [1], on lance le courant dans la bobine dans un sens déterminé, on établit l'équilibre de la balance en utilisant, pour achever l'opération, l'écrou de réglage e; puis on change le sens du courant et on rétablit avec des poids l'équilibre : ces poids représentent le double de la force cherchée.

Par ce procédé on peut souvent, quand on a à mesurer le champ

[1] Lorsqu'on étudie, en le mesurant de proche en proche, un champ variant rapidement, il peut arriver que, *pour un sens du courant*, l'équilibre devienne instable.

d'un électro-aimant, utiliser le même courant pour l'exciter et pour mesurer le champ qu'il produit. Un seul ampèremètre étalonné est alors nécessaire pour des mesures absolues. Pour des mesures relatives il suffit de maintenir constant le courant utilisé et on peut se dispenser de faire la mesure géométrique de la bobine. On peut employer ce procédé pour l'étude des propriétés magnétiques du fer, notamment pour la comparaison des perméabilités.

2° Dans le procédé à *courant variable*, après avoir établi le champ et produit l'équilibre, on ajoute (ou on retranche) un *poids fixe* dans le plateau.

On lance alors, dans le sens convenable, un courant dans la bobine, on fait varier ce courant avec un rhéostat *continu*, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli ; puis on mesure le courant [1].

Ce second procédé exige deux sources indépendantes pour l'électro-aimant et pour la bobine. En revanche, il dispense de manier des subdivisions du gramme et il est très rapide. Si l'on fait la mesure pour diverses valeurs du poids, on pourra contrôler rapidement l'échelle d'un ampèremètre.

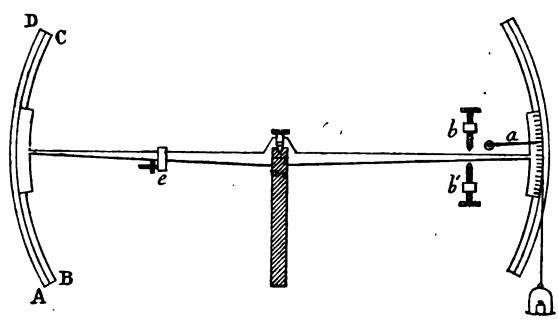


Fig. 3.

J'ajouterai que l'appareil de la *fig.* 3 permet d'étalonner un galvanomètre balistique [2]. On voit ainsi qu'il peut servir à diverses manipulations instructives. Il est bon, ce me semble, qu'un étudiant

---

[1] Il est commode d'utiliser l'un des butoirs limitant la course du fléau, en le disposant de façon à ce qu'il maintienne le fléau dans sa position primitive ; on fait varier progressivement le courant jusqu'à ce que le fléau quitte ce butoir.

[2] En déplaçant rapidement AB d'un certain angle, déterminé par la position des deux butoirs. L'aire coupée par AB est égale à $l \times n$, n étant la longueur, en centimètres, dont s'est déplacée l'échelle devant l'aiguille.

se soit exercé à mesurer directement, en les comparant à des poids, ces forces qui font tourner nos moteurs.

Application des ondes électriques à quelques problèmes simples de télégraphie. — Transmission duplex. — Téléphonie et télégraphie simultanées.

Par M. Turpain[1].

Les expériences nombreuses de télégraphie sans fil entreprises au cours de ces dernières années ont montré que les ondes électriques étaient susceptibles d'être utilisées avec succès dans le domaine des applications pratiques.

Toutefois l'emploi des ondes électriques pour communiquer sans conducteur interposé entre deux points doit évidemment être limité aux communications à petite distance. Aussi les expériences entreprises ne doivent-elles pas être considérées comme l'essor d'une nouvelle télégraphie, mais bien plutôt comme permettant de résoudre d'une manière complète l'important problème des communications à petite distance (communication des bateaux phares avec la côte, des navires entre eux, des convois qui se croisent sur les voies ferrées, etc...).

Si la télégraphie sans fil doit se borner à résoudre ces divers problèmes et ne peut espérer détrôner la télégraphie avec conducteur, il ne s'ensuit pas que les ondes électriques ne puissent pas être utilisées avec fruit dans la télégraphie avec conducteur. Bien au contraire, leur emploi permet alors de réaliser de notables simplifications dans les dispositifs divers qu'utilise la télégraphie ordinaire pour résoudre les problèmes qui se présentent dans la pratique.

Laissant de côté l'application des ondes électriques au problème général de la multi-communication télégraphique, dont nous avons récemment [2] indiqué le principe, principe basé sur l'utilisation des champs interférents, nous nous bornerons dans cette note à montrer comment les ondes électriques peuvent être employées à résoudre deux problèmes simples de télégraphie : le problème des

---

[1] Séance du 21 avril 1900.

[2] *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, ch. VII; Paris; A. Hermann, 1899. — *La Multicommunication en télégraphie au moyen des ondes électriques*, *Revue scientifique*, 3 mars 1900.

transmissions duplex et diplex et le problème de la téléphonie et de la télégraphie simultanées. Nous indiquerons en quoi la solution basée sur l'emploi des ondes électriques est plus simple que les solutions diverses réalisées dans la télégraphie par courants continus, et quel degré de généralité comporte la nouvelle solution proposée.

Transmission duplex par ondes électriques. — Le problème de la transmission duplex consiste à envoyer deux télégrammes à la fois par un même fil en sens inverse. Un fil unique relie deux stations A et B ; il s'agit de permettre simultanément la transmission de A vers B et celle de B vers A.

Indépendamment des deux méthodes classiques utilisées pour résoudre ce problème dans la télégraphie par courants continus, la *méthode différentielle* et la *méthode du pont de Wheatstone*, un grand nombre de méthodes particulières ont été indiquées par les télégraphistes (Mance, Edison, Vianisi, Muirhead, Ailhaud, etc...).

Toutes ces méthodes nécessitent la réalisation en A et en B d'une ligne factice équivalente à la ligne réelle en ce qui concerne la capacité et la résistance. La construction de cette ligne factice est parfois assez coûteuse, par exemple lorsqu'il s'agit de transmettre en duplex au moyen d'un câble sous-marin ou souterrain. On ne peut alors équilibrer la capacité du câble par l'emploi d'un seul condensateur de même capacité. Il faut poursuivre l'assimilation du câble et de la ligne artificielle en constituant toute une série de résistances et de capacités, c'est-à-dire faire pour chaque élément de la ligne factice une reproduction aussi exacte que possible de la capacité et de la résistance de l'élément correspondant du câble.

De plus ces méthodes ne permettent pas en général de transmettre de A vers B, avec un appareil télégraphique donné, un appareil imprimeur Hughes par exemple, alors que pour la transmission de B vers A on emploie un appareil différent du premier, un appareil de Morse.

La solution basée sur l'emploi des ondes électriques ne nécessite pas la construction de lignes factices, elle permet l'emploi de deux appareils télégraphiques différents.

Cette solution consiste à utiliser le courant d'une pile pour assurer la transmission des signaux de A vers B, alors qu'on emploie les ondes électriques pour transmettre de B vers A. Un excitateur est disposé en B; une clef de Morse permet d'envoyer les ondes qu'il

émet sur la ligne. A l'arrivée en A, ces ondes influencent un résonnateur à coupure. On intercale dans la coupure du résonateur le circuit d'une pile locale comprenant un appareil télégraphique récepteur. On peut employer un appareil quelconque, il suffit que le mécanisme transmetteur disposé en B se trouve invariablement lié à la clef de Morse qui commande l'émission des ondes sur la ligne.

Quelques précautions doivent être prises pour assurer le bon fonctionnement du dispositif.

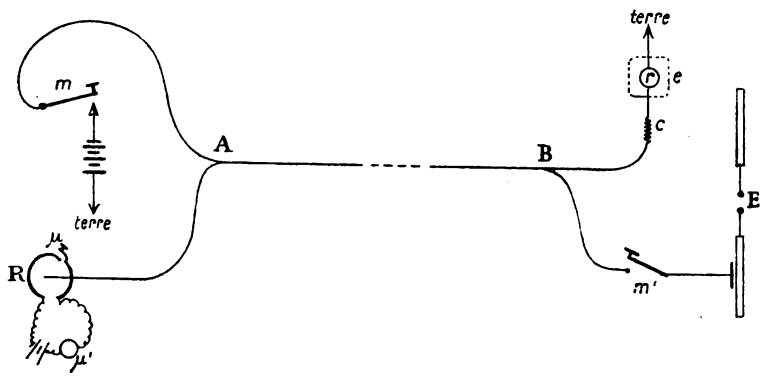


Fig. 1.

Comme le montre la *fig.* 1, les ondes produites en B par l'excitateur E peuvent se propager non seulement sur la ligne, mais aussi à travers le circuit du récepteur télégraphique *r* destiné à enregistrer les signaux qui lui sont transmis de A par courants continus. En dehors de la déperdition qui se produirait de ce chef, les ondes, en traversant l'électro-aimant de *r*, sautent de spires en spires et risquent d'endommager l'isolant. Pour opposer un obstacle aux ondes, il suffit de disposer avant le récepteur *r* soit une bobine en fil de fer isolé à la paraffine, soit plus simplement une cuve d'eau rendue légèrement conductrice. Pour protéger l'électro-aimant de *r* contre les actions des ondes, on l'enferme dans une petite enceinte métallique *e* constituée par du papier d'étain, mise en communication avec le fil qui vient de *c*, et que le conducteur qui se rend à la terre traverse sans la toucher. On soustrait ainsi l'électro-aimant à l'action des ondes, en utilisant le fait démontré par Hertz, que la propagation des ondes n'intéresse que la surface des conducteurs qui les concentrent.

Nous avons expérimenté ce dispositif de transmission duplex utilisant concurremment le courant continu et les ondes électriques à l'entretien de transmissions entre deux postes distants de 350 mètres. Chacun des postes étaient munis d'appareils de Morse. Pour rendre plus sensible le résonateur à coupure utilisé R, on disposait entre les deux pôles de son micromètre μ un cohéreur. On n'a pas en effet à craindre dans le cas actuel que le cohéreur fonctionne sous l'influence d'ondes qui ne lui soient pas destinées, puisque les ondes ne sont utilisées que pour la transmission dans un sens.

Les signaux purent être échangés simultanément, et ils furent enregistrés par les récepteurs Morse sans que la transmission par courant continu influât sur celle par ondes électriques, et sans qu'il se produisît d'influence inverse.

Les postes étaient situés, l'un dans la salle des machines de la Station centrale d'Electricité de Bordeaux-les-Chartrons, l'autre dans une dépendance de la station située à 350 mètres du premier poste et reliée à ce poste par un des fils qui servent comme fil protecteur du réseau du secteur. Ce fil était isolé au moyen de cloches de porcelaine sans autre soin d'isolement que ceux en usage dans la disposition des lignes télégraphiques ordinaires. Supporté par les mêmes poteaux qui soutiennent les fils de distribution du réseau, le fil utilisé était donc, tout le long de son parcours, au voisinage des premiers ; malgré cette proximité, il n'en permit pas moins l'échange simultanée de signaux entre les deux postes qu'il reliait.

Généralité de la solution proposée. — En dehors des avantages que présente la solution précédente sur celles habituellement usitées en télégraphie, elle est aussi plus générale. Elle permet, en effet, d'échanger des télégrammes entre deux postes A, B en employant le courant continu, en même temps que d'échanger des signaux entre deux autres postes C et D disposés sur la même ligne et utilisant pour leur échange des ondes électriques. Les dispositifs associés se trouvent en effet complètement indépendants ; ils ne se compensent pas mutuellement et peuvent être séparés l'un de l'autre, ce que ne rendent pas possible les méthodes utilisées dans la télégraphie usuelle.

Tansmission diplex. — Le problème de la transmission diplex consiste à envoyer deux télégrammes simultanément dans le même sens. Il suffit évidemment, pour utiliser la méthode précédente à la

solution de ce problème, de placer au même poste A les deux dispositifs transmetteurs, et au même poste B les deux dispositifs récepteurs. Les ondes électriques et le courant continu assurent alors concurremment la transmission simultanée de deux télégrammes de A vers B.

Nous avons également réalisé ce dispositif de transmission diplex sur la ligne de 350 mètres, qui a été gracieusement mise à notre disposition par M. Renous, directeur de la Station centrale d'Electricité de Bordeaux-les-Chartrons.

Téléphonie ordinaire et télégraphie par ondes électriques simultanées. — Nous avons cherché si la télégraphie par ondes électriques pourrait être pratiquée sur un fil servant à l'échange de transmissions téléphoniques.

On éprouve quelques difficultés à soustraire d'une manière complète un téléphone à l'action des ondes électriques. Elles y produisent un bruit de friture qui rend l'usage de l'appareil des plus désagréables. Il ne suffit pas d'enfermer les appareils téléphoniques dans une enceinte métallique *e*, à la manière du récepteur *r* de la *fig.* 1. Le bruit de friture se trouve diminué, mais non supprimé.

Nous sommes parvenus à soustraire d'une manière complète le téléphone à l'action des ondes en disposant les appareils de la manière suivante.

Les dispositifs téléphoniques *T* sont enfermés dans une enceinte métallique qu'il est facile de réaliser à peu de frais en tapissant de feuilles d'étain une cabine téléphonique ordinaire.

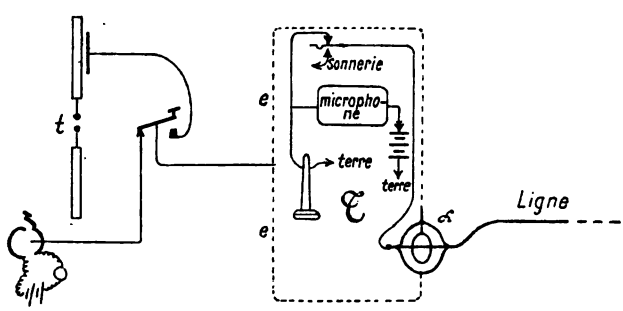


Fig. 2.

Le fil de ligne traverse la paroi de la cabine et est relié au téléphone et au microphone qui y sont contenus. Au lieu d'être en con-

tact direct avec la tapisserie métallique, ce fil traverse une ampoule à air raréfié α (*fig.* 2) dans une direction perpendiculaire au plan d'un anneau conducteur également contenu dans l'ampoule et qui entoure le fil sans le toucher. Cet anneau est mis extérieurement en contact avec la tapisserie métallique. Grâce à ce dispositif, les ondes électriques sont captées par l'enceinte métallique et transmises aux appareils télégraphiques qu'elles doivent actionner, tandis que le courant téléphonique parvient au téléphone débarrassé des ondes qui en troublerait le fonctionnement.

Les relations des divers appareils sont indiquées dans la *fig.* 2, dans laquelle le dispositif α a été agrandi pour plus de clarté.

Ce dispositif présente sur ceux utilisés jusqu'à présent en télégraphie ordinaire (système van Rysselberge, système Cailho) l'avantage de permettre la disposition des appareils télégraphiques t en un lieu A, alors que les appareils téléphoniques T sont placés à une autre station C. Il permet donc d'échanger par un même fil des transmissions télégraphiques entre deux postes A, B, en même temps que des conversations téléphoniques sont échangées entre deux postes C et D intermédiaires desservis par la même ligne.

Nous nous sommes bornés, jusqu'à aujourd'hui, à réaliser ce dispositif sur une petite longueur (15 à 20 mètres) ; nous nous proposons de l'utiliser en employant la ligne de 350 mètres, que nous avons actuellement à notre disposition.

Vérification de deux formules donnant le volume de vapeur saturée et les tensions maxima en fonction de la température ;

Par M. N. Moulin [1].

Je suis parti de l'équation caractéristique suivante :

$$(1) \qquad p\omega_1 = \frac{RT}{v} - \frac{b_1\omega}{v^{\frac{4}{3}}} + \frac{\frac{R'}{\omega^3}T}{v^{\frac{5}{3}}}$$

p, V, T, R ont leurs significations habituelles : b_1 est un nombre, R′ un multiple de R′. Les coefficients ω et ω_1 sont nouveaux ; ω^3 est le rapport du covolume (s^3) au volume v ; ω_1 se rattache au

[1] Séance du 21 avril 1900.

rapport de la pression p_1 à la surface du covolume, à la pression p, à la surface du volume extérieur. Ce sont deux fonctions de la température ainsi exprimées :

$$(2) \qquad \frac{\omega_c}{\omega} = 1 + \gamma\left(1 - \frac{T}{T_c}\right), \qquad \frac{\omega_1}{\omega_{1c}} = 1 + \gamma'\left(1 - \frac{T}{T_c}\right) \qquad (3)$$

γ et γ' ayant une valeur particulière pour chaque substance, mais déterminée invariablement quand varient p, V, T.

De l'équation (1), j'ai tiré les formules suivantes, où v est le volume spécifique de la vapeur saturée, p la tension maxima à la température absolue T (voir la séance de la *Société française de physique* du 17 février 1899) :

$$(4) \qquad \frac{T_c}{T} = \left(\frac{T_c}{T}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2$$

$$(5) \qquad \frac{v}{v_c} = \left(\frac{v}{v_c}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^3$$

$$(6) \qquad \frac{p_c}{p} = \left(\frac{p_c}{p}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^5 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1c}}.$$

Je désire faire aujourd'hui la preuve de ces formules.

Comme on le voit, l'indice H représente la substance théorique, pour laquelle ω est constant; et, pour déterminer les éléments de cette substance H, j'ai appliqué à l'équation (1) la règle de la droite de liquéfaction ; étant donnée une courbe isothermique TT, p étant la tension maxima correspondant à cette température, la parallèle aux abscisses pBCA donne deux segments égaux AmCA = CnBC.

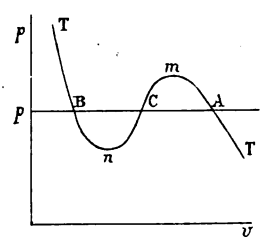


Fig. 1.

Les coefficients, y compris ω et ω_1, disparaissent dans les formules. Je porte en ordonnées les valeurs obtenues de $\log\left(\frac{v}{v_c}\right)_H$ en fonction de $\log\left(\frac{T_c}{T}\right)_H$, soit HH la courbe correspondante.

Dans les équations (4) et (5), où je remplace $\frac{\omega_c}{\omega}$ par la valeur (2) :

$$\frac{T_c}{T} = \left(\frac{T_c}{T}\right)_H \left[1 + \gamma\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)\right]^2, \qquad \frac{v}{v_c} = \left(\frac{v}{v_c}\right)_H \left[1 + \gamma\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)\right]^3,$$

je fais successivement γ égal à 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5.

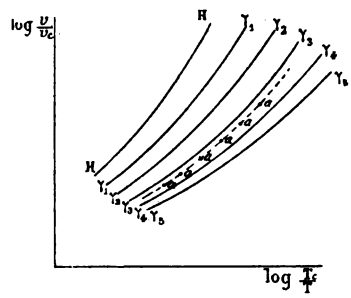


Fig. 2.

Je calcule $\log\frac{v}{v_c}$ en fonction de $\log\frac{T_c}{T}$; je porte la première valeur en ordonnées, la seconde en abscisses. J'obtiens ainsi les courbes γ_1, γ_2, γ_3, γ_4, γ_5 (*fig.* 2).

Ce canevas établi, relevons les valeurs obtenues par expérience, sur le fluorure de benzine par exemple, d'après M. Young, pour $\log\frac{v}{v_c}$ en correspondance avec les abscisses $\log\frac{T_c}{T}$. Nous obtiendrons des points tels que a, a, a, a, a, ..., et, si la règle est exacte, la courbe qui réunit ces différents points s'encadrera dans les courbes théoriques précédentes.

J'ai fait cette vérification pour les différents corps suivants :

Fluorure de benzine (de 278°,25 à 559°,55)	d'après les expériences de M. Young.
Benzine	
Chlorure de carbone	
Ether	
Acide acétique	
Alcool méthylique	
Vapeur d'eau, d'après les expériences de M. Tate (273° à 473°).	
Acide carbonique, d'après les expériences de M. Amagat.	

J'ai procédé de même pour la pression. On a, en développant les

produits et négligeant les termes en $\gamma \times \gamma'$ ou de degré supérieur au premier en γ et γ', une formule :

$$\frac{p_c}{p} = \left(\frac{p_c}{p}\right)_H \left[1 + \gamma_1 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)\right]. \tag{7}$$

Pour savoir dans quelles limites faire varier γ, j'ai tenu le raisonnement approché suivant : si le volume moléculaire était homogène, la pression se transmettant intégralement de ce volume au volume moléculaire, on aurait :

$$\omega_1 = \frac{p_1}{p} = \frac{\frac{2}{v^3}}{s^2} = \frac{1}{\omega^2}.$$

Dans ce cas la formule (7) s'écrirait :

$$\frac{p_c}{p} = \left(\frac{p_c}{p}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^7 = \left(\frac{p_c}{p}\right)_H \left[1 + \gamma \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)\right]^7.$$

J'ai alors repris les valeurs de γ égales à 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5, ce qui revient à faire à peu près γ_1 égale à 0,7 ; 1,4 ; 2,1 ; 2,8 ; 3,5. Dans ce nouveau schéma, j'ai relevé les expériences correspondantes des mêmes auteurs. La concordance entre la théorie et l'expérience semble complète, à une exception près.

Des corps que j'ai ainsi étudiés, seul, le sulfure de carbone ne s'encadre pas très bien ; il est voisin de la courbe γ_3 et la coupe. Je

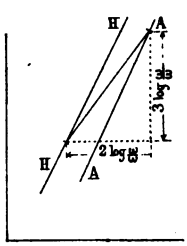


Fig. 3.

ne crois pas qu'il faille condamner la théorie pour ce seul fait. On passe d'un point d'une courbe H au point correspondant à la courbe voisine A, en traçant, par exemple, pour le cas des volumes des

droites inclinées des $\frac{2}{3}$ (*fig.* 3) sur l'axe des abscisses :

$$\log\frac{T_c}{T} = \log\left(\frac{T_c}{T}\right)_H + 2\log\frac{\omega_c}{\omega}, \qquad \log\frac{v}{v_c} = \log\left(\frac{v}{v_c}\right)_H + 3\log\frac{\omega_c}{\omega}.$$

Il suit de là que la courbe $\gamma = 0{,}5$ tracée sur le tableau provient presque tout entière de la partie basse de la courbe théorique HH ; or dans les calculs de $\left(\frac{v_c}{v}\right)_H$ et $\left(\frac{p_c}{p}\right)_H$ j'ai dû négliger une petite différence, infiniment petite aux températures moyennes, mais assez importante aux températures voisines de zéro ou du point critique. Sur la figure j'ai tracé cette portion de la courbe HH, d'après les courbes expérimentales elles-mêmes.

On comprendra que j'ai suivi de préférence une piste qui me conduisait au résultat ; je ne prétends pas cependant que la forme de mon équation (1) soit absolue, et la formule de M. Van der Waals donnerait peut-être de bons résultats si on y introduisait les considérations que j'ai visées ici :

1° Variation du covolume auquel on substituerait le rapport du covolume au volume ;

2° Introduction d'un rapport de pression ;

3° Changements proportionnels du covolume et du volume sous les efforts de la pression extérieure.

Une seule expérience (par exemple l'ébullition normale sous la pression atmosphérique), qui donnerait exactement le volume de la vapeur saturée et la tension normale à une température T donnée, pour une substance dont on connaît les éléments critiques, suffit pour déterminer la courbe correspondante.

J'espère, en conséquence, que les expérimentateurs voudront bien vérifier les formules (4), (5) et (7). J'ai donc donné le tableau des valeurs de $\log\left(\frac{v}{v_c}\right)_H$, $\log\left(\frac{p_c}{p}\right)_H$ et $\log\left(\frac{T_c}{T}\right)_H$.

$\log\left(\frac{T_r}{T}\right)_H$	$\log\left(\frac{r}{r_c}\right)_H$	$\log\left(\frac{p_c}{p}\right)_H$
0,0102575	0,4631868	0,1350277
0,0173673	0,7246131	0,2706740
0,0282458	0,9994362	0,4410722
0,0440352	1,3516497	0,7080935
0,0673555	1,8184434	1,1042577
0,1066642	2,6044119	1,8353032
0,1188155	2,8529574	2,0759306
0,1259545	3,0017178	2,2214558
0,1340506	3,1734300	2,3906425
0,1433598	3,3773613	2,5927557
0,1552290	3,6261441	2,8420136
0,1685090	3,9505899	3,1673584
0,1922496	4,3894809	3,6177906
0,1976845	4,7453607	3,9706248
0,2162729	5,2036179	4,4399738
0,2432497	6,0114915	5,2638689
0,2510342	6,2735031	5,5340386
0,2608490	6,6131208	5,8814428
0,2757650	7,0886013	6,3697237
0,2950548	7,9232324	7,2212340

Sur deux groupes remarquables de lieux géométriques;

Par M. E. Mathias [1].

§ 1. — Dans son beau travail expérimental sur l'acide carbonique [2], M. Amagat a considéré, dans le plan des (p, v), le lieu des points tels que, pour un poids total de liquide et de vapeur saturée égal à l'unité, le volume du liquide soit constamment égal à celui de la vapeur. D'après ce savant, ce lieu serait « rigoureusement une ligne droite presque perpendiculaire à l'axe des abscisses ». Soient u, u', δ, δ'; p, les volumes spécifiques, les deux sortes de densités et la pression de la vapeur saturée à la température t°; le volume total relatif à l'égalité des volumes du liquide et de la vapeur est :

$$(1) \qquad v = \frac{2uu'}{u+u'} = \frac{2}{\delta+\delta'}.$$

Exprimons que la droite qui joint le point (p, v) au sommet K (π, φ) de la courbe de saturation a un coefficient angulaire constant;

---

(1) Séance du 21 Avril 1900.

(2) E.-H. Amagat, *J. de Phys.*, 3e série, t. I, p. 288; 1892.

il vient :

$$(2) \qquad \frac{p-\pi}{v-\varphi} = \frac{p-\pi}{\frac{2}{\delta+\delta'}-\varphi} = C^{te} = k.$$

S'il en était ainsi, l'élimination de $\frac{\delta+\delta'}{2}$ entre l'équation (2) et celle du diamètre rectiligne :

$$(3) \qquad \frac{\delta+\delta'}{2} = \Delta - \alpha(\Theta - T), \qquad T = 273 + t,$$

dans laquelle α est le coefficient angulaire de diamètre, $\Delta = \frac{1}{\varphi}$ la densité critique, et Θ la température critique absolue, donnerait l'expression de p en fonction de la température seule et des constantes critiques π, Θ et Δ, expression d'où l'on tirerait des relations nouvelles d'une importance capitale pour l'étude des fluides saturés. Je me propose de démontrer, au contraire, que *le lieu considéré par M. Amagat est une courbe constamment convexe vers l'axe des abscisses, qui est la seule des courbes définies par la constance du rapport des volumes du liquide et de la vapeur coupant la courbe de saturation au point critique sous un angle fini.*

En effet, le coefficient angulaire de la tangente au lieu considéré est :

$$(4) \qquad \frac{dp}{dv} = \frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{d}{dt}\left(\frac{2}{\delta+\delta'}\right)} = \frac{\frac{dp}{dt}}{-\frac{2}{(\delta+\delta')^2}\left(\frac{d\delta}{dt}+\frac{d\delta'}{dt}\right)}.$$

Or, en vertu de (3), on a :

$$\frac{d\delta}{dt} + \frac{d\delta'}{dt} = 2\alpha;$$

d'où :

$$(4)' \qquad \frac{dp}{dv} = -\frac{(\delta+\delta')^2}{4\alpha}\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{\alpha}\left\{\Delta - \alpha(\Theta - T)\right\}^2 \frac{dp}{dt}.$$

L'expression (4)′ montre que $\frac{dp}{dv}$ est constamment positif ; à température suffisamment basse, $\frac{dp}{dv}$ tend vers zéro en même temps que

$\frac{dp}{dt}$; à la température critique on a :

$$(5) \qquad \left(\frac{dp}{dv}\right)_c = -\frac{\Delta^2}{\alpha}\left(\frac{dp}{dt}\right)_c,$$

le lieu considéré rencontrant la courbe de saturation sous un angle fini.

§ 2. — Formons maintenant le $\frac{d^2p}{dv^2}$; comme il s'agit de fluides saturés, toutes les quantités sont exclusivement fonctions de la température, d'où :

$$\frac{d^2p}{dv^2} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dp}{dv}\right) \times \frac{dt}{dp}.$$

Comme $\frac{dt}{dp}$ est toujours fini et positif, les points d'inflexion du lieu considéré seront donnés par

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dp}{dv}\right) = 0.$$

Tout calcul fait, on tire de (4)' la relation (6) :

$$(6) \qquad \left\{\Delta - \alpha(\Theta - T)\right\}\left[2\alpha\frac{dp}{dt} + \left\{\Delta - \alpha(\Theta - T)\right\}\frac{d^2p}{dt^2}\right] = 0.$$

Si l'on remarque que le premier facteur est toujours différent de zéro, et que l'on a :

$$\frac{\Delta}{\alpha} = -\frac{\Theta}{a};$$

a étant une constante bien connue, voisine de *un* dans un grand nombre de cas, il vient enfin :

$$2\frac{dp}{dt} - \left\{\frac{\Theta}{a} + \Theta - T\right\}\frac{d^2p}{dt^2} = 0,$$

relation qui peut se mettre sous la forme :

$$(7) \qquad \frac{1}{T}\,\frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{d^2p}{dt^2}} = \frac{\Theta}{T}\,\frac{1+a}{2a} - \frac{1}{2}.$$

Or $\frac{1+a}{2a}$ est extrêmement voisin de *un;* lorsque T croît d'une

façon continue jusqu'à Θ, le second membre de (7), toujours positif, va sans cesse en diminuant jusqu'aux environs de $\frac{1}{2}$. Comment varie, dans ces conditions, la fonction de la température représentée par le premier membre ? On peut le voir de deux façons : la première et la plus naturelle consiste à suivre la variation de la fonction considérée sur un corps particulièrement bien étudié ; dans le cas de l'*hexane normal*, étudié par M. S. Young [1], on trouve ainsi :

t	p	$\frac{1}{T}\frac{dp}{dt}\Big/\frac{d^2p}{dt^2}$	t	p	$\frac{1}{T}\frac{dp}{dt}\Big/\frac{d^2p}{dt^2}$
— 10°	25mm,90	+ 0,077	+ 110°	2358mm,0	+ 0,148
0°	44 ,92	0,082	+ 120°	2982 ,4	0,149
+ 10°	74 ,67	0,086	+ 130°	3723 ,1	0,154
+ 20°	119 ,42	0,092	+ 140°	4693 ,0	0,159
+ 30°	184 ,40	0,097	+ 150°	5606 ,5	0,163
+ 40°	275 ,85	0,102	+ 160°	6777 ,7	0,167
+ 50°	400 ,90	0,108	+ 170°	8122 ,9	0,170
+ 60°	567 ,62	0,114	+ 180°	9659 ,4	0,172
+ 70°	784 ,80	0,120	+ 190°	11407 ,0	0,173
+ 80°	1062 ,0	0,126	+ 200°	13385 ,0	0,1742
+ 90°	1409 ,4	0,132	+ 210°	15619 ,0	0,1746
+ 100°	1837 ,6	0,137			

Par conséquent, l'expression $\frac{1}{T}\frac{dp}{dt}\Big/\frac{d^2p}{dt^2}$ est une fonction toujours croissante de la température et toujours positive ; pour les très petites valeurs de la pression, la fonction considérée a des valeurs de quelques centièmes seulement, qui augmentent à peu près linéairement avec la température. Lorsqu'on se rapproche de la température critique, l'augmentation se ralentit de plus en plus, la fonction tendant, pour la température critique, vers un maximum absolu voisin de 0,176, dans le cas de l'hexane normal.

On peut encore étudier l'allure de la fonction au moyen de la formule de J. Bertrand à trois constantes :

$$p = G\left(\frac{T-\lambda}{T}\right)^{\alpha}$$

qui donne :

$$\frac{1}{T}\frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{d^2p}{dt^2}} = \frac{T-\lambda}{(\alpha+1)\lambda - 2T}. \tag{8}$$

[1] S. Young, *Trans. of the Chem. Soc.*, 1895.

Le second membre de (8) est une fonction de la température toujours croissante. Dans le cas de l'acide carbonique on a [1] :

$$\alpha = 273{,}972, \qquad \lambda = 7{,}006.$$

Au point critique :

$$t = 31, \qquad T = 304, \qquad \frac{1}{T}\frac{dp}{dt}\Big/\frac{d^2p}{dt^2} = 0{,}225.$$

On peut donc affirmer que, le premier membre de l'équation (7) étant toujours plus petit que 0,30, tandis que le second membre est toujours plus grand que 0,50, l'équation n'est jamais satisfaite : *le lieu considéré n'a donc pas de point d'inflexion, le coefficient angulaire allant toujours en croissant avec la température.*

§ 3. — Lorsque la pression tend vers zéro, u' croît indéfiniment ; (1) donne alors :

$$\lim v = 2 \lim u.$$

D'après la *loi du tiers de la densité*, cela devient

$$\lim v = \frac{2}{3}\varphi.$$

Sur la *fig.* 1, on a : $OK' = \varphi$, $OH = \frac{1}{3}\varphi$, $OI = \frac{2}{3}\varphi$; H est l'extré-

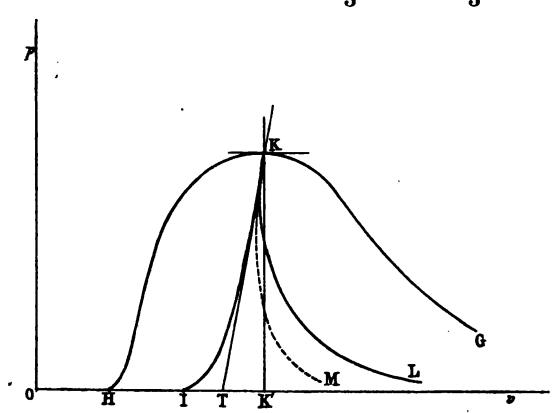


Fig. 1.

mité de la courbe de saturation du côté du liquide, le lieu considéré

[1] J. Bertrand, *Thermodynamique*, p. 168.

par M. Amagat ayant la forme IK. Sur une très grande étendue, ce lieu est extrêmement rapproché de sa tangente au point critique KT; on s'explique donc très bien comment, en restant au voisinage du point critique (entre 0° et 31°), M. Amagat a, *par construction graphique*, identifié ce lieu avec une droite presque perpendiculaire à l'axe des abscisses.

§ 4. — Parmi les *courbes de titre constant*, c'est-à-dire telles que, pour un poids total du liquide et de la vapeur égal à l'unité, le poids de la vapeur soit constant, il en est une et une seule qui rencontre la courbe de saturation sous un angle fini; c'est celle qui correspond à des poids égaux du liquide et de la vapeur [1].

Il est remarquable qu'elle aussi ait pour coefficient angulaire de la tangente au point critique:

$$-\frac{\Delta^2}{\alpha}\left(\frac{dp}{dt}\right)_c,$$

c'est-à-dire qu'elle soit tangente au lieu considéré par M. Amagat.

La *fig.* 1 donne la forme du lieu KL obtenu ainsi et qui a pour coordonnées p et $v' = \frac{u+u'}{2}$; on trouve aisément que le coefficient angulaire de la tangente à ce lieu, d'abord positif au point critique, croît d'abord et arrive à $+\infty$, un peu au-dessous de la température critique; il passe alors de $+\infty$ à $-\infty$ et continue à croître algébriquement jusqu'à zéro, lorsque la pression décroît sans cesse.

§ 5. — Les lieux KI et KL sont tangents, en K, à un troisième lieu; en effet, des équations

$$v = \frac{2uu'}{u+u'}, \qquad v' = \frac{u+u'}{2},$$

on tire

$$vv' = uu' = v''^2. \tag{9}$$

Le lieu qui a pour coordonnées (p, v''), étant compris entre les lieux (p, v) et (p, v') en vertu de (9), admet nécessairement leur tangente commune en K, ainsi qu'on peut s'en assurer par un calcul direct. On verrait de même que ce lieu NM a une forme tout à fait semblable à celle de KL.

La double relation (9), en vertu de laquelle l'abscisse du lieu KM est, pour une même valeur de la pression, la moyenne géométrique

---

[1] Raveau, *J. de Phys.*, 3e série, t. I, p. 461; 1892.

des abscisses de KI et KL d'une part, des abscisses des branches KH et KG de la courbe de saturation d'autre part, conduit à une construction géométrique simple des lieux KI et KL, quand on suppose connus la courbe de saturation et le diamètre KL conjugué de ses cordes horizontales.

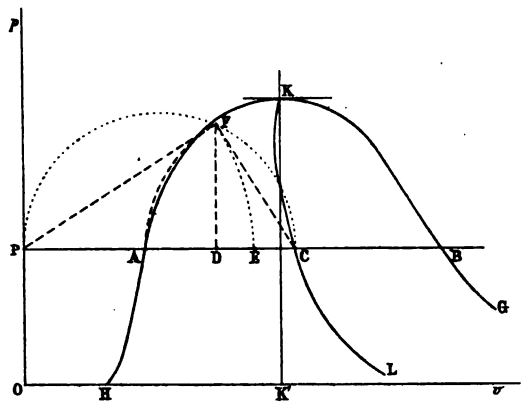


FIG. 2.

Menons, en effet, une parallèle PAB à l'axe des abscisses, qui rencontre en C le diamètre KL. Sur PC comme diamètre, construisons une circonférence et, du point C comme centre avec AC pour rayon décrivons une autre circonférence qui coupe la première au point F ; avec P pour centre et PF pour rayon, décrivons une circonférence qui coupe PAB en E et projetons F en D ; les points D et E sont les points des lieux KI et KM qui correspondent à OP $= p$.

En effet, de (9) on tire :

$$v''^2 = uu' = \left(\frac{u+u'}{2}\right)^2 - \left(\frac{u'-u}{2}\right)^2.$$

Or dans le triangle rectangle PFC on a :

$$\overline{PF}^2 = \overline{PC}^2 - \overline{FC}^2 = \overline{PE}^2 = \overline{AC}^2 - \overline{PC}^2 = \left(\frac{u+u'}{2}\right)^2 - \left(\frac{u'-u}{2}\right)^2;$$

d'où

$$PE = v'.$$

D'autre part, on a

$$\overline{PF}^2 = PD \times PC$$
$$v''^2 = PD \times v';$$

d'où

$$PD = v.$$

C. Q. F. D.

§ 6. — On peut tracer dans le plan de la *courbe des densités* des lignes qui ont la plus étroite analogie avec les lieux KL, KI et KM de la *fig.* 1. La courbe des densités est l'analogue de la courbe de saturation ; le *diamètre rectiligne*, $y = \frac{\delta + \delta'}{2}$, est le lieu des points tels que l'ordonnée est la densité moyenne d'un mélange de liquide et de vapeur, lorsque ceux-ci ont leurs volumes égaux.

Quant au lieu $z = \frac{2\delta\delta'}{\delta + \delta'}$, son ordonnée donne, pour chaque valeur de t, la densité moyenne d'un mélange de liquide et de vapeur, tels que les poids du liquide et de la vapeur sont égaux.

Or les deux derniers lieux sont tels que l'on ait

$$yz = \delta\delta' = x^2, \tag{10}$$

en désignant par x l'ordonnée d'un nouveau lieu géométrique qui a, avec les précédents et avec la courbe des densités, les mêmes relations que les lieux KL, KI et KM de la *fig.* 1 ont entre eux et avec la courbe de saturation.

Les relations (10), identiques aux relations (9), prouvent que la construction géométrique relative aux abscisses de la *fig.* 2 s'applique aux ordonnées de la *fig.* 3. Il est, en outre, très facile de démontrer directement que les lieux dont les ordonnées sont x et z sont tangents au diamètre rectiligne à la température critique.

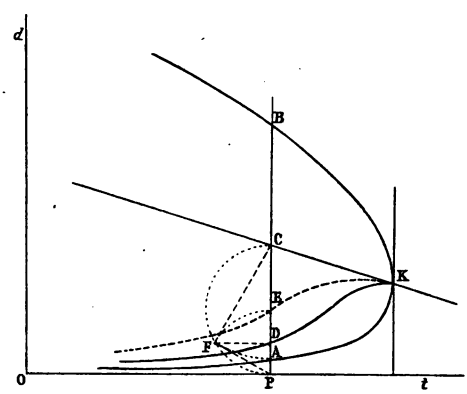


FIG. 3.

En effet, pour le premier, on a :

$$x^2 = \delta\delta', \qquad 2x\frac{dx}{dt} = \delta\left(\frac{d\delta'}{dt} + \frac{\delta'}{\delta}\frac{d\delta}{dt}\right)$$

La parenthèse a évidemment même limite que $\frac{d\delta}{dt} + \frac{d\delta'}{dt} = 2\alpha$; comme x et δ ont pour limite commune Δ, on a, à la température critique,

$$2\Delta\left(\frac{dx}{dt}\right)_c = \Delta \,.\, 2\alpha, \qquad \text{d'où} \qquad \left(\frac{dx}{dt}\right)_c = \alpha.$$

On a, d'autre part,

$$x^2 = yz, \qquad 2x\frac{dx}{dt} = 2\frac{dy}{dt} + y\frac{dz}{dt}.$$

A la température critique, on a

$$2\Delta\alpha = \Delta\alpha + \Delta\left(\frac{dz}{dt}\right)_c. \qquad \text{d'où} \qquad \left(\frac{dz}{dt}\right)_c = \alpha.$$

Sur les lois des chaleurs spécifiques des fluides;

Par M. E. H. Amagat [1].

En 1895, M. Witkowski, partant de ses isothermes de l'air aux basses températures, et moi-même partant des réseaux de divers gaz et des expériences de M. Joly sur les chaleurs spécifiques sous volume constant, avons énoncé quelques-unes des lois relatives aux variations des chaleurs spécifiques des gaz; M. Tsuruta a, depuis, fait aussi des recherches intéressantes dans la même direction, relativement à l'air et à l'hydrogène; l'ensemble de ces résultats est, en général, conforme aux déterminations directes dues à M. Lussana; mais il paraît difficile que de telles déterminations expérimentales puissent être poursuivies jusque sous des pressions très élevées; dans ces conditions, les chaleurs spécifiques soit sous volume constant, soit sous pression constante, ne peuvent donc qu'être déduites par le calcul de leur valeur prise sous des pressions abordables à l'expérience et de la connaissance des rapports existant entre le volume, la pression et la température; les relations bien connues

[1] Séance du 1er juin 1900.

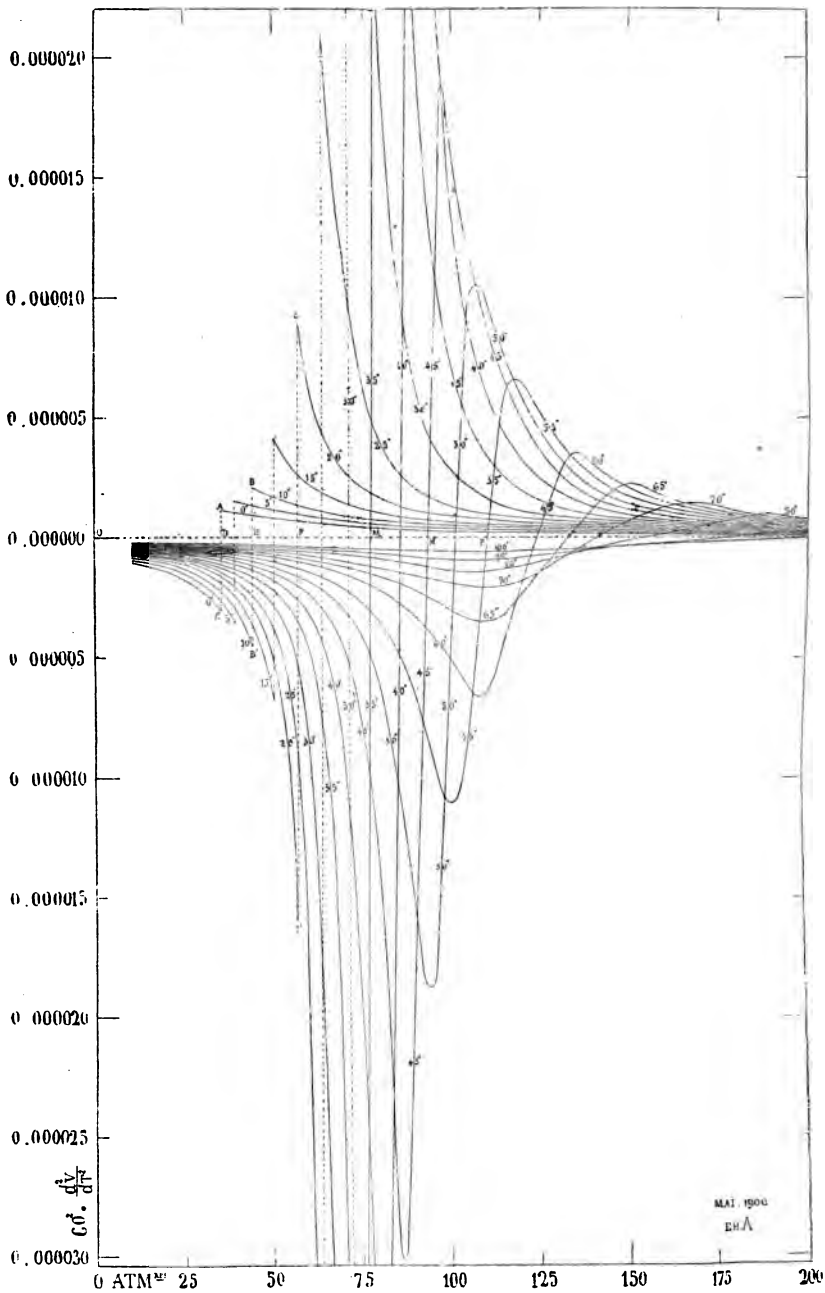

0.000020
0.000015
0.000010
0.000005
0.000000
0.000005
0.000010
0.000015
0.000020
0.000025
0.000030
$cd.\ \frac{d^2V}{dT^2}$
0 ATM^es 25
50
75
100
125
150
175
200
MAI 1906

Fig. 1.

qui peuvent servir à ces calculs sont les suivantes :

$$\frac{dc}{dv} = \mathrm{AT}\,\frac{d^2p}{dt^2}, \tag{1}$$

$$\frac{dC}{dp} = -\,\mathrm{AT}\,\frac{d^2v}{dt^2}, \tag{2}$$

$$C - c = \mathrm{AT}\,\frac{dp}{dt}\,\frac{dv}{dt}. \tag{3}$$

Les calculs faits jusqu'ici n'ont point porté sur la région des réseaux englobant l'état de saturation et le point critique; cette partie, la plus intéressante, est aussi celle qui présente le plus de difficultés.

Je me suis proposé l'étude de la question, pour l'acide carbonique, dans toute l'étendue du réseau que j'en ai donné, c'est-à-dire jusqu'à 1 000 atmosphères entre 0° et 260°. Dans cette note préliminaire, je ne parlerai que de l'application de la relation (2) et, sans insister pour le moment sur les détails, je dirai seulement que tous les calculs ont été faits graphiquement : j'ai d'abord construit un réseau de quarante-trois lignes d'égale pression (les températures étant comptées sur les abscisses) dont les tangentes m'ont fourni, pour vingt-cinq températures convenablement réparties, un premier tableau de valeurs $\frac{dv}{dt}$ contenant plus de mille déterminations; un graphique de ces valeurs portées en ordonnées m'a de même permis d'obtenir un tableau des valeurs correspondantes $\frac{d^2v}{dt^2}$. La difficulté de ces déterminations est en grande partie dans les changements continuels d'échelle, nécessités par les variations énormes des ordonnées, qui deviennent infinies à la température critique et varient dans mon tableau dans le rapport de un à dix mille.

La figure 1 représente une partie seulement de ces résultats; les valeurs de $\frac{d^2v}{dt^2}$ portées en ordonnées constituent des isothermes affectées chacune de la température qui lui correspond; les pressions sont portées en abscisses. Les isothermes n'ont été tracées ici que jusqu'à 100° et les pressions limitées à 200 atmosphères; on voit qu'il eût été impossible, vu le resserrement des lignes, d'étendre davantage ces limites avec l'échelle adoptée.

Il est facile maintenant, à la simple inspection de ce réseau, et c'est à cela que se bornera la présente communication, de voir de

suite l'ensemble d'un certain nombre des lois des variations de C à température constante.

L'équation de l'une des isothermes du réseau étant $\frac{d^2v}{dt^2} = \varphi(p)$, on a d'après (2)

$$\frac{dC}{dp} = -AT\varphi(p),$$

et, par suite,

$$C - C_0 = -AT\int_{p_0}^{p_1}\varphi(p)\,dp. \tag{4}$$

Pour une température donnée, les variations de C avec la pression (depuis une valeur connue C_0) seront donc données, à la constante AT près, par l'aire comprise entre l'isotherme, l'axe des pressions, l'ordonnée correspondant à p_0 et l'ordonnée variable.

Le diagramme montre que les isothermes se composent de deux parties, dont les ordonnées sont de signes contraires. Pour les températures supérieures à la température critique, ces isothermes sont continues, les autres sont discontinues.

Dans le premier cas, les aires étant d'abord négatives, il résulte de la relation (4) que C augmente avec la pression d'abord rapidement (surtout pour les températures basses), puis moins rapidement, acquiert sa valeur maxima sous la pression correspondant à l'intersection de l'isotherme avec l'axe des pressions, diminue ensuite, d'abord rapidement, puis de moins en moins rapidement, quand la pression continue à croître.

On voit aussi, de suite, que la pression pour laquelle C est maximum croît continuellement avec la température.

Pour des températures inférieures à la température critique, chaque isotherme se compose de deux parties séparées, l'une à ordonnées négatives pour laquelle le corps est gazeux et qui se termine en un point tel que A′ correspondant à l'état de saturation, l'autre à ordonnées positives, pour laquelle le corps est liquide et qui commence en un point tel que A correspondant aussi à l'état de saturation. J'ai réuni ces deux points par des lignes telles que AA′, BB′, CC′, qui sont ponctuées pour indiquer qu'elles ne font pas partie de l'isotherme, qui est discontinue.

On voit qu'ici encore C commence par croître avec la pression, jusqu'à la tension maxima ; il doit alors subir, avec le changement d'état, une variation dont je donnerai plus loin le calcul, puis décroît

indéfiniment et de moins en moins rapidement, la pression continuant à croître. Il résulte de là que, quel que soit le signe de la variation accompagnant le changement d'état, le maximum de C a lieu sous la tension maxima, c'est-à-dire comme après le point critique, sous des pressions croissant avec la température; ces pressions forment donc une suite régulière qui permettrait de prolonger en quelque sorte la courbe des tensions maxima au-delà du point critique.

L'inspection du diagramme montre de suite que les valeurs maxima de C sont d'autant plus grandes qu'on se rapproche davantage de la pression critique soit avant, soit après celle-ci; pour le point critique, le maximum prend une valeur infinie.

Si nous remarquons maintenant l'espace limité que doivent occuper, dans la partie négative, toutes les isothermes non tracées, depuis 100° jusqu'aux températures les plus élevées, et, d'autre part, le resserrement rapide du réseau dans la partie positive, sous des pressions croissantes, les lois limites apparaissent de suite : Pour l'état gazeux, les variations de C décroissent indéfiniment quand la température croît, et deviennent forcément extrêmement petites, même en tenant compte du facteur constant proportionnel à la température absolue. Pour une température quelconque, à partir d'une certaine pression, ces mêmes variations diminuent aussi indéfiniment quand la pression croît et deviennent aussi extrêmement petites.

Il reste encore à voir comment on pourra calculer la variation de C accompagnant le changement d'état.

Partons des relations bien connues :

$$m = C + h\frac{dp}{dt},$$
$$m' = C' + h'\frac{dp}{dt}.$$

On en tire, u et u' étant les volumes spécifiques à saturation,

$$C - C' = m - m' - (h - h')\frac{dp}{dt} = m - m' - AT\frac{dp}{dt}\left[\frac{\delta(u - u)}{dt}\right]_p$$

soit en remplaçant $m - m'$ par sa valeur,

$$C - C' = \frac{\lambda}{T} - \frac{d\lambda}{dt} - AT\frac{dp}{dt}\left[\frac{\delta(u' - u)}{dt}\right]_p.$$

Il est préférable d'éliminer la chaleur latente λ; pour cela, il suffit de différencier l'expression de λ :

$$\lambda = \mathrm{AT}\,(u' - u)\,\frac{dp}{dt}.$$

On obtient ainsi la relation :

$$\frac{d\lambda}{d\mathrm{T}} - \frac{\lambda}{\mathrm{T}} = \mathrm{AT}\,\frac{dp}{dt}\,\frac{d\,(u' - u)}{dt} + \mathrm{AT}\,(u' - u)\,\frac{d^2p}{dt^2},$$

qui permet d'éliminer les deux termes contenant λ.

On a donc finalement :

$$\mathrm{C} - \mathrm{C}' = \mathrm{AT}\left\{(u - u')\,\frac{d^2p}{dt^2} + \frac{dp}{dt}\left[\frac{\delta\,(u - u')}{dt}\right]_p + \frac{dp}{dt}\,\frac{d\,(u - u')}{dt}\right\},$$

Le calcul de la formule n'exigera donc point d'autres données expérimentales que celles déjà nécessaires pour calculer jusqu'à saturation les valeurs de $\frac{d^2v}{dt^2}$; il est facile de voir que les deux premiers termes de (C — C') sont négatifs et le dernier positif; on ne peut donc en déterminer le signe *a priori :* je reviendrai sur ce point.

Un calcul analogue conduit, pour la variation de la chaleur spécifique à volume constant, à une relation correspondante que j'utiliserai aussi plus tard.

L'examen des variations de C avec la température, celui des lois correspondantes pour les chaleurs spécifiques à volume constant, ainsi que les valeurs numériques de ces diverses variations, feront l'objet de notes ultérieures.

Comparaison du thermomètre à résistance de platine avec le thermomètre à gaz et détermination du point d'ébullition du soufre (1);

Par MM. Pierre Cappuis et J. A. Harker (2).

Les expériences dont je me propose de résumer les résultats ont été entreprises au Bureau international des Poids et Mesures, à l'instigation du Comité de l'Observatoire de Kew, qui coopéra à ces études, en fournissant les appareils destinés aux mesures des températures par le thermomètre à résistance électrique de platine, et en déléguant, pour effectuer ces déterminations, un des membres de son personnel scientifique, M. le Dr Harker. Je fus chargé, par le Comité international des Poids et Mesures, de la partie de ce travail relative à la mesure des températures par le thermomètre à gaz.

Avant de parler des comparaisons, je décrirai rapidement le thermomètre de platine, la disposition des appareils de mesure et la méthode appliquée pour l'emploi du thermomètre électrique. La description du thermomètre à gaz et le résumé des résultats de cette étude formeront la deuxième partie de cette communication.

Thermomètre de platine. — C'est principalement aux recherches de MM. Callendar et Griffiths que l'on doit l'introduction du thermomètre de platine dans les laboratoires. Sous la forme très pratique que lui ont donnée ces physiciens, cet instrument est constitué par un fil fin de platine très pur, enroulé sur un support de mica. Ce support est formé de deux lames minces entrecroisées, qui présentent, sur leurs bords, une dentelure régulière.

Les spires du fil s'engagent dans les creux de cette dentelure et s'y trouvent maintenues, à des intervalles réguliers, parfaitement isolées.

Les extrémités du fil fin, qui constitue le thermomètre proprement diamètre, reliés eux-mêmes, en P_1P_2 (*fig.* 1), par des conducteurs dit, sont fixées par soudure autogène à deux fils d'un plus fort

---

(1) Cette notice est le résumé d'un mémoire publié à la fois dans les *Phil. Trans.*, 5e série, vol. 195, p. 37 à 134, et dans les *Trav. et Mém. du Bureau international des Poids et Mesures*, t. XII, 1900, par MM. P. Chappuis et J.-A. Harker.

(2) Séance du 15 juin 1900.

souples à l'une des branches d'un pont de Wheatstone représenté dans le diagramme (*fig.* 1).

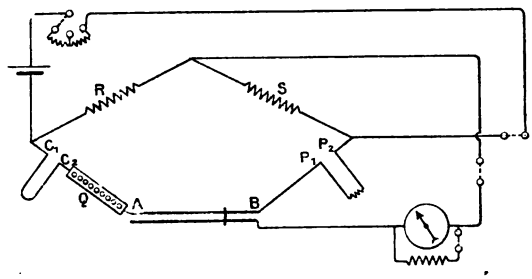


Fig. 1.

Dans la branche opposée du pont, on peut intercaler à volonté une série de bobines R de résistances exactement connues, qui servent à mesurer la résistance variable du thermomètre. Ainsi disposé, le thermomètre serait encore affecté d'un défaut évident. Les gros fils de platine et les conducteurs qui les relient au pont subissent des variations de température difficiles à évaluer, qui modifient leur résistance et dont les effets viennent s'ajouter aux variations du fil thermométrique. M. Callendar obtient une compensation parfaite de ces effets, en disposant en C_1C_2, dans la branche du pont opposée au thermomètre, un deuxième circuit composé de fils de même nature, de même longueur et de même résistance que ceux qui aboutissent aux extrémités du fil thermométrique.

Le thermomètre comprend donc, outre le fil thermométrique et les conducteurs de platine déjà décrits, un deuxième circuit en fil de platine de même résistance, formant une simple boucle, et dont les extrémités sont reliées par des conducteurs souples de cuivre aux deux bornes C_1, C_2, du pont. Les câbles souples des deux circuits sont tressés ensemble afin d'assurer l'égalité des conditions de température. On peut donner à ces câbles, sans inconvénients, une longueur suffisante pour permettre le transport du thermomètre dans différentes parties de la salle, ou même dans des salles voisines.

Le thermomètre est protégé par une gaine de verre mince ou de porcelaine contre le contact des liquides ou des gaz, des bains ou étuves, qui servent aux expériences.

Je ne puis qu'indiquer rapidement les précautions prises pour

assurer à la mesure des résistances toute la précision désirable. La boîte de résistances avait été construite par MM. Crompton et Cie, d'après les dessins de M. Harker. Les résistances étaient constituées par des fils de manganine enroulés sur des tubes de verre, soigneusement isolées et suspendues à l'intérieur d'une cuve massive de cuivre rouge à double paroi. L'espace extérieur de la cuve était rempli d'eau afin d'assurer une grande fixité de température.

La variation de la résistance électrique de la manganine suivant la température est extrêmement faible. Elle a été déterminée à plusieurs reprises dans le cours des expériences.

Des clefs de contact d'une forme spéciale, étudiée par M. Harker en vue d'assurer des contacts parfaits de résistance insignifiante, servent à supprimer les bobines inutiles aux mesures.

Le courant qu'on fait passer dans le fil thermométrique afin de mesurer sa résistance, si faible qu'il soit, produit un échauffement sensible de celui-ci, de sorte que la mesure ne donne pas la température de l'enceinte, mais une température un peu supérieure. D'après nos expériences, l'élévation de température produite dans le fil de notre principal thermomètre par le courant était d'environ 14 millièmes de degré (0,006 degré par milliwatt). Nous nous sommes efforcés de maintenir cet excès constant à toute température, en ramenant toujours le courant de mesure à la même valeur.

Le galvanomètre qui nous a servi dans la plus grande partie des expériences est celui de M. Broca, professeur agrégé à la Faculté de Médecine, présenté ici même et qu'il a très gracieusement mis à notre disposition. Pour soustraire cet appareil très sensible aux trépidations du sol, nous fûmes contraints, après plusieurs essais infructueux, de le suspendre au plafond par quatre longs ressorts à boudin en acier. Un double système de palettes plongeant dans de l'huile lourde de pétrole servait à amortir les vibrations transversales.

L'avantage principal du thermomètre de platine réside dans l'étendue considérable de son échelle, qui embrasse plus de 1.200 degrés. Aux températures très basses, la diminution extrême de la résistance du thermomètre paraît cependant donner lieu à des difficultés. Aux températures supérieures à 100°, le mica qui sert de support perd de l'eau, prend un aspect nacré et devient assez fragile. Cette modification du support cause parfois une légère variation de la résistance initiale, mais ne change pas l'intervalle fondamental lorsque le ther-

momètre a été convenablement recuit. J'ajouterai que, pour les trois thermomètres soumis aux expériences, la résistance a varié en moyenne de 1 à 1,386 entre les températures fondamentales 0° et 100°.

Comparaisons des thermomètres de platine avec le thermomètre à gaz. — Les mesures par lesquelles nous avons cherché à déterminer l'échelle des thermomètres de platine se divisent en quatre groupes, imposés en quelque sorte par la disposition des appareils d'échauffement et des instruments de mesure. A chacun de ces groupes d'expériences correspondent des conditions extérieures et une précision particulières.

Ce sont :

1° Comparaisons effectuées dans l'eau, entre 0° et 50°, entre les thermomètres en platine K_8 et K_9, et quatre thermomètres à mercure étalons du Bureau international, comparés eux-mêmes au thermomètre à hydrogène et dont l'échelle est ainsi bien déterminée ;

2° Comparaisons des thermomètres de platine dans un bain d'huile, aux températures comprises entre 100° et 200° avec un thermomètre à azote, sous volume constant, dont la pression initiale était de 793 millimètres de mercure ;

3° Comparaisons des thermomètres K_8 et K_9, entre 250° et 460°, dans un bain constitué par un mélange des nitrates de soude et de potasse, avec un thermomètre à azote, sous volume constant, à réservoir de porcelaine ; la pression initiale du thermomètre à azote était ici de 528,8 millimètres et 1° correspondait à 1,87 millimètre de pression ;

4° Comparaisons du thermomètre K_2 ,dans le même bain de nitrates, avec le thermomètre à azote, sous volume constant, entre les températures 484° et 586° ; la pression initiale du thermomètre à azote était de 392 millimètres ; 1° correspondait à 1,42 millimètre de pression.

Comme la sensibilité du thermomètre à gaz varie suivant la pression initiale, il est évident que les différentes séries de comparaisons ne peuvent pas comporter la même précision. L'emploi des différentes pressions initiales nous était d'ailleurs imposé par la construction du thermomètre à gaz, qui ne permettait pas de mesurer des pressions supérieures à $1^m,400$.

Description du thermomètre à gaz. — Le thermomètre à gaz, que nous avons employé, rappelle, par sa disposition générale, celui qui

a servi antérieurement [1] à l'étude de l'échelle des thermomètres à mercure. Il s'en distingue cependant sous bien des rapports. Le réservoir thermométrique, en verre ou en porcelaine, est vertical ; il communique par un tube capillaire avec la branche fermée du manomètre. Celle-ci est constituée par un tube en cristal travaillé optiquement sur ses faces extérieures et intérieures ; elle est fermée en haut par un bouchon de verre ou d'acier, percé en son centre d'un petit trou dans lequel s'engage le tube capillaire.

Le bouchon se termine par un plan horizontal ; une petite pointe, fixée au milieu, sert à l'affleurement du mercure, de manière à ne laisser qu'un très petit *espace nuisible*.

La branche fermée peut être mise, par sa partie inférieure, en communication directe avec la cuvette d'un baromètre, et l'appareil est disposé de façon à fournir, directement et par une seule lecture, la pression totale du gaz renfermé dans le réservoir thermométrique. Comme cette pression varie dans des limites étendues, il est nécessaire de fixer le baromètre sur une coulisse le long de laquelle on puisse le déplacer verticalement. La pièce qui porte le baromètre sert également de support à une règle dont le trait 0 est à une distance verticale déterminée de la pointe en verre noir, soudée dans la chambre barométrique, à laquelle on fait toujours affleurer le mercure. La règle, qui se déplace ainsi en même temps que le baromètre, est guidée à sa partie inférieure à la hauteur de la branche fermée par une réglette, contre laquelle elle est légèrement appuyée par des ressorts. Cette réglette n'est autre chose qu'un vernier, solidaire de la branche fermée et dont le zéro est à une distance connue de la pointe d'affleurement. La lecture du vernier, corrigée des erreurs de départ, donne ainsi immédiatement la différence de niveau des pointes du manomètre et du baromètre, et par là celle des surfaces de mercure, lorsqu'on les a amenées à l'affleurement.

L'appareil manométrique que je viens de décrire permet de mesurer avec précision toutes les pressions comprises entre 300 et 1.400 millimètres de mercure. En remplissant le réservoir thermométrique de manière à rendre la pression initiale égale à 300 millimètres, on pourrait donc observer, avec cet instrument, une température de 1.000°. Il est avantageux, pour la mesure des températures moins élevées, de donner à la pression initiale une valeur supérieure, afin d augmenter la sensibilité de l'instrument.

---

(1) *Trav. et Mém. du Bureau int. des P. et M.*, t. VI, 1888.

Choix du gaz. — L'hydrogène ayant été adopté pour la définition de l'échelle normale des températures, nous avions d'abord l'intention d'employer ce gaz pour nos comparaisons ; mais les expériences préliminaires nous ont montré qu'à des températures déjà un peu inférieures à 200°, l'hydrogène paraît avoir une action chimique sur le verre dur. On observe, en effet, une diminution graduelle de la masse du gaz après un échauffement prolongé ; en outre, le coefficient de dilatation, jusque-là très constant, paraît augmenter sensiblement; ce qui peut s'expliquer par la formation d'eau. Des expériences spéciales, faites sur une petite masse de gaz renfermée dans un tube capillaire scellé, ont confirmé ces conclusions. Comme ces effets perturbateurs devaient augmenter aux températures plus élevées, nous avons renoncé à employer l'hydrogène et l'avons remplacé par l'azote.

L'azote n'a pas absolument la même échelle thermométrique que l'hydrogène ; mais les expériences faites jusqu'ici permettent cependant de conclure que l'écart entre les échelles thermométriques de ces deux gaz est inférieur aux erreurs inévitables des expériences pour les pressions initiales faibles dont il s'agit ici.

Pour obtenir des températures suffisamment constantes et uniformes dans les comparaisons entre 100° et 200°, nous avons employé un appareil d'échauffement d'un réglage très facile, qui a donné de bons résultats. Il consiste en une chaudière de cuivre à double paroi, dans laquelle on fait bouillir des liquides sous différentes pressions.

Le centre de cette chaudière est occupé par un grand bain d'huile dans lequel plongent les thermomètres que l'on veut comparer. On agite le bain au moyen d'un agitateur vertical. La chaudière est en communication, par l'intermédiaire d'un réfrigérant, avec un grand vase métallique dans lequel on peut faire le vide ou comprimer de l'air, et l'y maintenir sous pression constante.

En employant ainsi trois liquides, savoir l'eau, le paraxylène et l'aniline, nous avons pu obtenir toutes les températures comprises entre 100° et 190°, et les maintenir constantes aussi longtemps que l'exigeaient les comparaisons.

Dans les expériences aux températures plus élevées, nous nous sommes servis d'un bain composé d'un mélange des nitrates de soude et de potasse. Ce bain, d'environ 25 litres, était renfermé dans une cuve de fonte chauffée par une double circulation de gaz chauds. Une double hélice, dont le mouvement était entretenu par une petite

dynamo, servait à agiter le bain. Le mode de chauffage par circulation des gaz est très avantageux, lorsqu'on veut opérer à des températures très constantes; mais le réglage demande beaucoup de temps et une surveillance continue.

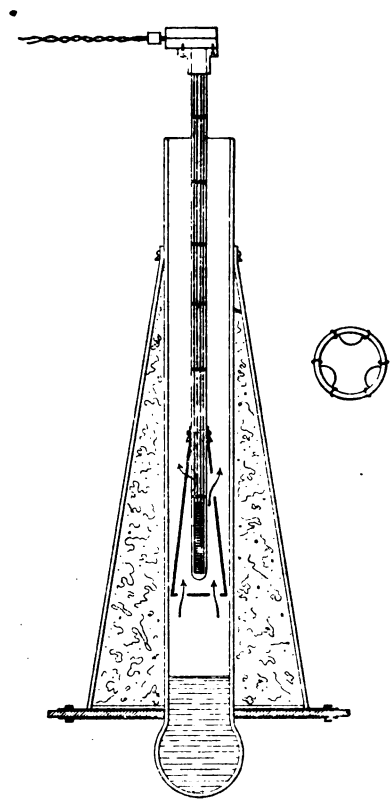


Fig. 2.

Nous avons donné un soin particulier à la détermination de l'échelle du thermomètre de platine, aux températures voisines de 445°, qui correspond au point d'ébullition du soufre. Ce point a une importance particulière, parce qu'il sert à l'étalonnage du thermomètre de platine et qu'il a déjà été déterminé par MM. Callendar et Griffiths. Ces physiciens ont obtenu, pour l'ébullition du soufre à la pression de 760 millimètres, la température 444°,5, tandis que les expériences de Regnault avaient donné 448°,3 environ. La différence très notable

de ces nombres provient sans doute des conditions dans lesquelles le thermomètre employé par Regnault se trouvait placé.

L'ébullition du soufre avait lieu dans un tube en fer forgé dont les parois surchauffées devaient rayonner sur le réservoir thermométrique. Ces effets, déjà constatés par Regnault, ont été évités avec soin par MM. Callendar et Griffiths, qui font bouillir le soufre dans un tube de verre, dit tube de Meyer, de 60 centimètres de longueur environ, dont la partie inférieure élargie est seule exposée au contact de la flamme d'un gros brûleur Bunsen. Le soufre remplit toute cette partie, et s'élève au-dessus d'un fort écran en carton d'amiante, qui entoure toute la partie supérieure du tube jusqu'à quelques centimètres de son orifice supérieur.

Le thermomètre de platine est introduit par le haut dans cet appareil, dont il occupe à peu près le centre. Pour éviter que le soufre condensé qui coule le long de l'enveloppe du thermomètre ne refroidisse celle-ci, on entoure la partie sensible d'une deuxième enveloppe formée par un petit cône en carton d'amiante, percé de part en part de plusieurs trous pour laisser circuler directement les vapeurs.

Lorsqu'on prend ces précautions, l'on obtient une température d'une grande fixité.

En observant ainsi, à plusieurs reprises, le point d'ébullition du soufre avec deux thermomètres de platine, tandis que nous déterminions, d'autre part, l'échelle de cet instrument par des comparaisons directes avec le thermomètre à azote, nous avons obtenu, pour la température d'ébullition du soufre, des valeurs comprises entre 445°,1 et 445°,3. Notre résultat moyen diffère de 0°,7 de celui de MM. Callendar et Griffiths. Nous pensons que cet écart peut être expliqué par différentes causes d'erreurs, qui affectent l'une et l'autre mesure. Je ne mentionnerai ici que celle dont l'influence me paraît prépondérante, savoir : l'incertitude qui affecte les déterminations de la dilatation cubique du réservoir du thermomètre à gaz.

Conclusions. — Les résultats principaux de notre travail peuvent être résumés comme suit :

1° Les différences de marche entre les échelles des thermomètres de platine K_8 et K_9 et l'échelle normale des températures sont représentées assez exactement, entre les limites de température — 23° et + 45°, par la formule de M. Callendar :

$$t - pt = \delta\left(\frac{T^2}{100^2} - \frac{T}{100}\right).$$

La constante δ a, pour les deux thermomètres étudiés, une valeur voisine de 1,54.

Dans l'intervalle [— 23° + 100°], dans lequel la mesure des températures dans l'échelle normale présente la plus grande précision, nous avons constaté, entre les observations et la formule, des écarts systématiques dépassant un centième de degré;

2° Sous la pression normale, la température d'ébullition du soufre, observée dans les conditions définies plus haut, a été trouvée égale à 445°,2; cette température étant mesurée dans l'échelle d'un thermomètre à azote sous volume constant, ayant une pression initiale de 530 millimètres environ.

Sur le retard de décharge;

Par M. R. Swyngedauw (1).

Historique. — En général, lorsqu'on établit entre les pôles. d'un excitateur une différence de potentiel donnée, ou bien l'étincelle éclate aussitôt ou elle n'éclate jamais.

M. Jaumann (2) a montré que, dans certains cas, si la différence de potentiel est comprise entre certaines limites, l'étincelle n'éclate pas aussitôt, mais au bout d'un certain temps, appelé retard de décharge.

Ce retard est d'autant plus grand que la différence de potentiel est plus petite; le plus grand retard observé est de quatre ou cinq minutes.

Un excitateur, d'après M. Jaumann, peut donc se décharger avec des retards variables pour une infinité de potentiels compris entre deux limites V et V'; pour les potentiels inférieurs à V, l'étincelle n'éclate jamais; le retard est infini. Pour les potentiels supérieurs à V', elle éclate toujours avec un retard nul. Si on appelle respectivement V et V' les potentiels explosifs statique et dynamique de l'excitateur, on peut dire que, s'il y a retard, $V < V'$, le potentiel explosif statique est plus petit que le potentiel dynamique.

---

(1) Séance du 15 juin 1900.
(2) *Wied. Ann.*, t. LV, p. 658.

M. Warburg a comparé les retards à l'obscurité et à la lumière ultra-violette.

Il a mesuré les potentiels explosifs statique et dynamique V et V′ d'un même excitateur pour une charge durant quatre ou cinq minutes et une charge d'une très petite fraction de seconde.

La charge lente s'obtient en diminuant la capacité d'un condensateur en communication avec les pôles de l'excitateur.

La charge brève se fait par un contact glissant, mû par un ressort, mettant l'excitateur en contact pendant $\frac{1}{300}$ de seconde environ avec le condensateur, puis avec un fil uni au sol.

Il observe les résultats suivants :

1° *A l'obscurité*, le potentiel explosif dynamique est plus de deux fois plus grand que le potentiel explosif statique (charge lente);

2° A la lumière ultra-violette, le potentiel dynamique est notablement inférieur ou, au plus, égal au potentiel statique.

M. Warburg [1] interprète ces résultats en disant qu'à l'obscurité le retard de décharge est considérable ; à la lumière ultra-violette, *le retard est diminué.*

Dans le travail suivant, nous avons étudié dans quelles conditions existe le retard de décharge et donné leur interprétation véritable aux expériences de M. Warburg.

Etude du retard. — Pour étudier le retard de décharge, nous employons l'appareil suivant (*fig* 1) : une planchette de bois AA′, de 1 mètre de longueur, est montée sur un axe horizontal et mobile dans un plan vertical. Sur cet axe est fixé un cercle de laiton évidé *c*, dont le centre est sur l'axe de rotation et qui est isolé de ce dernier par une épaisseur de 2 centimètres de paraffine. Deux frotteurs, *f*, *f′*, dont un seul est figuré, en laiton mince, à 180° l'un de l'autre, fixés sur un des supports de l'axe par l'intermédiaire d'une plaque de paraffine de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, mettent le cercle en communication constante avec une borne B.

L'extrémité de la planchette porte deux plaques en paraffine, *p*, *p′* (dont une partie est figurée), rivées sur elle et portant une tige de fibre W, sur laquelle on peut visser une sphère métallique *s*. Cette sphère est unie métalliquement au cercle évidé *c* par un fil de cuivre.

Un moteur électrique, dont l'axe est solidaire de l'axe de l'appareil

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 1, et t. LXII, p. 385.

précédent, peut faire tourner ce dernier avec une vitesse convenable.

D'autre part, sur le madrier qui porte les montants de l'appareil, on peut faire glisser une plaque de paraffine, π, portant deux languettes en laiton l, l' munies de bornes. On peut placer la plaque de paraffine dans une position telle que les languettes soient successivement rencontrées par la sphère s entraînée dans le mouvement de rotation de la planchette. Cette position est atteinte lorsque la plaque de paraffine bute contre une petite règle clouée sur le madrier; en déplaçant la plaque, on supprime tout contact avec la sphère de la planchette.

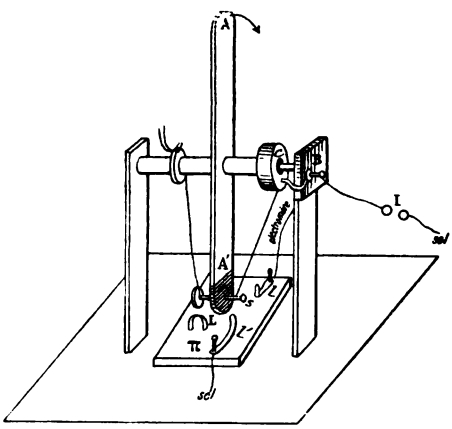


Fig. 1.

Le moteur tournant dans un sens déterminé, toujours le même, on réunit métalliquement la borne de la première languette rencontrée l, avec le cylindre isolé de l'électromètre de Bichat et Blondot, l'armature intérieure d'une grosse jarre et un des pôles de la machine de Holtz. La borne B est unie à la sphère isolée d'un excitateur I dont l'autre est au sol. Le cylindre intérieur de l'électromètre, l'armature externe de la jarre, le deuxième pôle de la machine, la borne de la deuxième languette, sont au sol.

Dans ces conditions, si l'on charge la jarre à un potentiel donné, V, lorsqu'on mettra le moteur électrique en activité, puis que l'on amènera la plaque de paraffine contre le buttoir, la sphère, en rencontrant la première languette chargera l'excitateur I au potentiel V, puis, en rencontrant la deuxième languette, ramènera le potentiel de I à zéro.

L'excitateur I restera donc chargé pendant le temps que met la sphère à se mettre successivement en contact avec la première et la deuxième languette. Ce temps se calcule facilement d'après la distance des deux languettes et la vitesse de rotation de l'appareil.

Dans une expérience on opérait avec un excitateur I, formé de sphères en fer surtout employées par M. Warburg, avec une distance explosive de 1 millimètre environ. Il n'y avait aucune charge auxiliaire dans le plateau de l'électromètre ; la division zéro de l'échelle correspondait au potentiel zéro. En chargeant l'électromètre et le condensateur au potentiel correspondant à quarante-deux divisions de l'électromètre et en amenant la sphère S en contact avec la première languette *l*, on n'observait pas immédiatement une étincelle à l'excitateur I, *mais, en prolongeant ce contact, l'étincelle éclatait au bout de quatre à cinq secondes.*

Éloignant ensuite la plaque de paraffine de son buttoir, on charge l'électromètre à cinquante-deux divisions, on met le moteur électrique en activité, on amène la plaque au buttoir ; l'excitateur est chargé à ce potentiel pendant $\frac{1}{300}$ de seconde, et il ne se décharge pas ; il faut que l'électromètre indique soixante-deux divisions, pour qu'il se décharge.

De quarante-deux à soixante-deux, il y a donc un écart très appréciable, il y a retard de décharge.

Tout retard disparaissait en frottant très énergiquement les pôles à la toile d'émeri. Un frottement à la toile d'émeri fin était loin d'être suffisant. On constatait le même phénomène avec les pôles en laiton ternis ; seulement la couche d'oxyde produite par les étincelles s'enlevait très aisément avec une toile d'émeri fin. On peut expliquer aisément ce retard de la façon suivante :

La mince couche d'oxyde formée par les étincelles n'est pas une couche bonne conductrice de l'électricité.

Lorsque la charge se fait très rapidement par la méthode dynamique, l'électricité est distribuée sur la surface de la partie conductrice des pôles de l'excitateur au-dessous de la couche d'oxyde. Cette couche joue, dans la charge dynamique, le rôle d'un diélectrique solide. Pour qu'une décharge éclate entre les pôles de l'excitateur, l'électricité doit non seulement traverser l'air, mais encore la mince couche d'oxyde ; or, pour percer un diélectrique solide, il faut une différence de potentiel beaucoup plus considérable que pour

percer la même épaisseur d'air; le potentiel explosif dynamique d'un excitateur terni sera donc plus grand que le potentiel explosif de l'excitateur poli. Il y a retard de décharge.

Dans la charge statique, la charge de l'excitateur se faisant lentement, la couche d'oxyde, qui est douée d'une certaine conductibilité, joue le rôle de conducteur.

L'électricité est distribuée à la surface libre de la couche d'oxyde.

La décharge, pour se produire, n'a pas à traverser de diélectrique solide; elle ne doit percer qu'une couche d'air, d'épaisseur très peu inférieure à celle qu'elle aurait à percer si l'excitateur était poli.

Le potentiel explosif de l'excitateur terni est donc un peu plus petit que le potentiel explosif de l'excitateur poli, ce que montrent certaines expériences.

Je crois que les résultats observés par M. Warburg sont dus en grande partie à l'emploi de pôles en fer, que l'on ne peut maintenir suffisamment polis par un frottement léger à la toile d'émeri. Il faut un frottement excessivement énergique avec une toile d'émeri à grains plus gros, pour maintenir les pôles dans un état de propreté suffisante (1).

J'ai parfois constaté, avec des excitateurs bien polis, une légère différence entre le potentiel explosif statique et le potentiel explosif dynamique. La différence était due à un mauvais contact du frotteur avec le cercle évidé, et je crois qu'une autre partie des résultats de M. Warburg sont dus à cette cause; c'est pour assurer un meilleur contact que j'ai employé deux frotteurs f et f' diamétralement opposés.

Certaines fois je trouvais une différence appréciable de $\frac{1}{25}$ environ entre les potentiels explosifs obtenus avec les deux modes de charge; mais je pense que des cas *isolés* ne suffisent pas pour poser une loi générale. *Je n'ai jamais constaté d'écarts notables* et surtout jamais d'écarts analogues à ceux que signale M. Warburg. *Si à l'air libre les excitateurs polis convenablement n'offrent pas de retard de décharge*, on conçoit cependant qu'*en vase clos ce retard puisse exister;* en effet, à cause de l'imparfait isolement des parois du vase qui contient l'excitateur, le champ électrique se modifie d'une façon continue avec le temps de charge : les parois tendent à se couvrir d'une couche électrique de plus en plus étendue et de plus en plus dense, de

(1) Thèse, Paris, 1897, n° 904, p. 16.

sorte que dans la charge statique le champ électrique de l'excitateur n'est pas le même que dans la charge brève.

Expériences à la lumière ultra-violette. — Les expériences de M. Warburg avec la lumière ultra-violette peuvent s'interpréter à l'aide de la proposition suivante que nous avons établie antérieurement [1] : *Sous l'action des rayons ultra-violets l'abaissement du potentiel explosif est une fonction croissante de la vitesse de variation du potentiel entre les pôles de l'excitateur.* Nous pouvons remarquer en effet que la vitesse de variation du potentiel est beaucoup plus grande dans la charge bréve que dans la charge statique, car, si le potentiel est maintenu pendant un temps très court θ, il a été établi en un temps r bien plus court encore, et en effet dans les expériences de M. Warburg comme dans les miennes, on l'établit par une étincelle.

Ainsi, d'après notre interprétation, la lumière ultra-violette n'agirait qu'au moment même où l'excitateur se charge, où son potentiel croît. D'après M. Warburg, elle agit avec une efficacité au moins aussi grande après la charge, quand le potentiel final est atteint. Pour décider entre ces deux interprétations, même en admettant un certain retard de décharge, nous avons opéré de la façon suivante :

On place une lampe à arc avec condensateur à quartz de l'autre côté de la planchette mobile, par rapport à l'excitateur. 1° On concentre la lumière de la lampe à arc sur l'excitateur placé en une position telle que la lumière est interceptée par la planchette au moment où la charge de l'excitateur se produit et que l'éclairement n'a lieu qu'après la charge, quand la planchette se trouve entre les deux languettes ; 2° on place la lampe dans une position telle que l'excitateur soit éclairé au moment où l'excitateur se charge.

Dans le premier cas on a constaté que le potentiel explosif était le même que si la charge avait été faite par une machine électrostatique. Dans le second cas, il était nettement plus petit.

Enfin, pour obtenir des abaissements de potentiel plus grands, on éclairait l'excitateur par une étincelle auxiliaire d'une machine de Wimshurst, munie de ses condensateurs. On faisait éclater cette étincelle à 4 ou 5 centimètres de l'excitateur. Pour cela, on plaçait un excitateur secondaire dans le voisinage du premier, et on réunissait l'un des pôles de cet excitateur à l'un des pôles de la machine de

---

[1] *Comptes Rendus*, 11 mai 1896.

Wimshurst; l'autre pôle était uni à une petite plaque métallique m, portée par la planchette à l'opposé de la sphère s, par l'intermédiaire de fils frotteurs convenables, analogues aux précédents; et, d'autre part, une lame de clinquant recourbée, L, placée sur la plaque de paraffine π, était unie au deuxième pôle de l'excitateur secondaire, et cette lame L pouvait se placer entre des positions telles que, la machine de Wimshurst étant en activité, une étincelle éclatait entre cette lame L et la petite plaque P, pendant que l'excitateur principal était chargé et provoquait ainsi une étincelle à l'excitateur secondaire.

Le potentiel explosif observé est le même que dans la charge statique et cela quel que soit le point où la lame était placée pendant la charge; comme la lame n'était pas munie de vis micrométriques, on n'a pas pu faire éclater l'étincelle secondaire pendant la durée excessivement courte de la charge.

On a tourné cette dernière difficulté en éclairant l'excitateur principal par l'étincelle qui éclate entre la sphère et la lame L, au moment du contact, étincelle qui sert à charger l'excitateur principal lui-même. Pour rendre cette étincelle plus lumineuse, on avait réuni les pôles de l'excitateur principal aux armatures d'un petit condensateur plan, de capacité de 1/45 environ de la jarre employée dans la charge. On a constaté que cette étincelle diminue le potentiel explosif dynamique dans des proportions plus fortes que le potentiel explosif statique, ce qui est conforme à notre interprétation.

En résumé : *les excitateurs polis placés à l'air libre ne présentent pas de retard de décharge.* On n'observe les résultats de M. Warburg à la lumière ultra-violette que si on éclaire l'excitateur pendant le temps de charge r. L'interprétation de ce savant doit être abandonnée; ses expériences apportent une nouvelle confirmation de la proposition que nous avions énoncée.

Nouveau modèle de trompe à mercure;

Par MM. G. Berlemont et Jouard [1].

Les divers inconvénients que présentent les modèles courants de trompe à mercure nous ont engagé depuis longtemps à chercher un mode de construction meilleur, qui atténue ou même fasse disparaître ces inconvénients.

Les conditions que nous nous sommes attachés à réaliser sont, d'une part, la suppression des robinets et, par suite, de la graisse dont ils rendent l'emploi indispensable, aussi bien sur le trajet de l'air que sur le trajet du mercure; la disparition des tubes courbes qui servent fréquemment de refuge aux bulles d'air entraînées par le mercure; un démontage et, par suite, un nettoyage faciles; enfin une réduction très appréciable du prix de l'appareil.

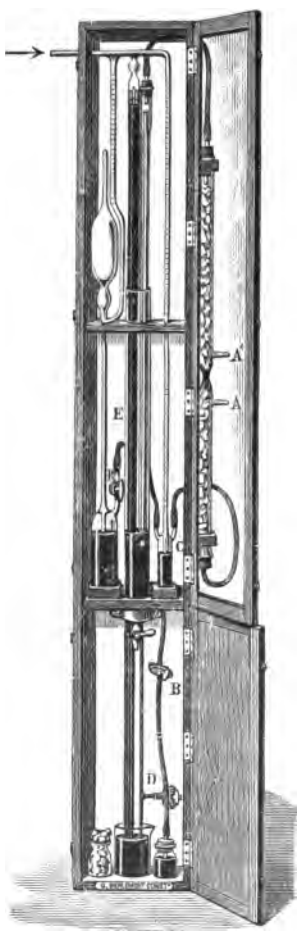
Après des essais multiples, nous avons construit le modèle ci-contre qui satisfait à ces divers désidérata. Le réservoir de mercure est formé par un manchon de verre E, assez large et dont la partie inférieure est mastiquée dans une garniture de fonte, munie d'un robinet de fer qui permet de vider le manchon. Dans le mercure de ce manchon, plonge une cloche étroite qui enveloppe la partie supérieure des tubes de chute et communique par le haut avec le récipient où on veut faire le vide. Les tubes de chute portent, à quelques centimètres de leur extrémité supérieure, un petit trou latéral, par lequel se déverse le mercure quand il a atteint un niveau suffisant. Les tubes de chute traversent, d'autre part, le fond de la garniture de fonte et viennent déboucher, comme d'ordinaire, sous le mercure du cristallisoir placé tout en bas.

A ces parties essentielles s'ajoutent les pièces nécessaires au remontage automatique du mercure, le dispositif permettant de commencer le vide avec la trompe à eau et enfin une jauge de Mac-Leod.

Le remontage automatique s'obtient par le système imaginé par M. Verneuil, que nous avons réduit à des dimensions plus petites. Dans le manchon E plonge une deuxième cloche communiquant par le haut avec la trompe à eau. A la partie supérieure de cette cloche débouche un tube vertical qui traverse, d'autre part, le

[1] Séance du 6 juillet 1900.

fond de la garniture de fonte et vient plonger dans le mercure du cristallisoir inférieur. C, tube vertical, porte, à 1 centimètre environ du niveau du mercure, un petit branchement latéral D, par lequel pénètre l'air extérieur appelé par la trompe à eau ; l'écoulement de



cet air peut être réglé au moyen d'un caoutchouc et d'une pince à vis. Si le débit est bien réglé, le mercure est soulevé jusqu'à la hauteur de D, et les bulles d'air divisent la colonne en gouttes qu'elles entraînent dans leur ascension jusqu'à l'extrémité supérieure du tube vertical ; le mercure tombe dans la cloche et, de là, vient remplacer dans le manchon celui qui s'est écoulé par les chutes.

La jauge de Mac-Leod se voit sur la gauche du dessin; le mercure qui sert à la faire fonctionner reste tout à fait indépendant du mercure circulant et n'est soumis à aucune cause de souillure.

Le tube vertical de la jauge pénètre dans l'intérieur d'une ampoule. la hauteur du tube et la section de l'ampoule sont calculées de manière qu'on puisse remplir la jauge sans démasquer le tube. L'ampoule porte une tubulure latérale munie d'un robinet ou d'une pince R qu'un caoutchouc relie à la pièce C; le robinet peut être d'ailleurs remplacé par une pince. Cette pièce, C, est une ampoule munie de trois tubulures : l'une à la partie inférieure, qui porte un caoutchouc plongeant dans un flacon rempli de mercure; ce caoutchouc peut être fermé par la pince B; des deux autres tubulures, placées à la partie supérieure, l'une reçoit le caoutchouc venant de la jauge, l'autre un caoutchouc qui aboutit à la trompe à eau par l'intermédiaire du tube A. Enfin, dans l'ampoule, pénètre par une double soudure un tube vertical soudé, d'autre part, à la cloche qui recouvre les tubes de chute, au tube de la jauge et au récipient; le mercure contenu dans cette ampoule et le manomètre restent toujours isolés des autres.

Tout l'ensemble est enfermé dans une cage vitrée où on peut mettre un desséchant. En dehors de la cage, à droite, on aperçoit un tube en deux parties, renfermant un desséchant, et qui est destiné à empêcher l'humidité de la trompe à eau d'arriver dans l'appareil.

Supposons que du mercure ait été introduit dans tous les vases, dans le manchon, jusqu'aux deux tiers environ de la hauteur.

Nous ouvrons le robinet, ou pince R, et nous desserrons la pince B; le mercure de C s'écoule et démasque l'orifice du tube central; nous refermons B. Si alors nous relions la trompe à eau à la tubulure A, la trompe à eau fait le vide dans le récipient et dans la jauge. Quand la limite de fonctionnement de la trompe à eau est atteinte, nous fermons R et nous ouvrons B : le mercure monte en C et vient fermer le tube central. La trompe à mercure est isolée alors de l'extérieur. Si nous laissons rentrer l'air par A, la pression atmosphérique fait monter le mercure de C dans le tube central; une graduation tracée sur ce tube permet de l'utiliser comme manomètre.

En mettant le caoutchouc de la trompe à eau sur A′, nous faisons fonctionner le remontage, et, quand le mercure a atteint un niveau suffisant, les chutes se mettent en marche.

Pour se servir de la jauge, il suffit d'ouvrir lentement le robinet ou

pince R; la pression atmosphérique fait monter le mercure dans la jauge. La mesure terminée, on a, pour rappeler le mercure, simplement à mettre la trompe à eau sur A; le vide se fait au-dessus du mercure dans l'ampoule inférieure de la jauge et le mercure redescend dans le tube.

La présence du robinet R n'a aucun inconvénient : le mercure ne vient jamais en contact avec lui, pas plus que l'air ou le gaz de l'espace où on veut faire le vide.

Une trompe de ce genre à trois chutes permet de réaliser le vide de Crookes, en une heure à peine, dans un espace d'un demi-litre.

Transformateur à haut voltage, à survolteur cathodique;

Par M. P. Villard. (1)

J'ai décrit, il y a environ un an (2), une soupape électrique permettant de trier, ou de redresser, les courants alternatifs à haut voltage. A l'occasion de ces expériences, M. Carpentier a eu l'obligeance de construire et de mettre gracieusement à ma disposition un transformateur à l'aide duquel j'ai pu continuer l'étude de cette question.

---

(1) Séance du 7 décembre 1900.

(2) *Comptes Rendus*, t. CXXVIII, p. 994; 1899.

Dans une note des *Beiblätter* (t. XXIII, p. 686; 1899) M. E. Wiedemann considère l'appareil en question comme une application des résultats publiés par M. A. Wehnelt (*Wied. Ann.*, t. LXV, p. 510; p. 1898). Cette assertion ne me paraît pas justifiée. La soupape cathodique, représentée à part (*fig.* 1), est un perfectionnement des appareils analogues dont l'idée première remonte à Gaugain et à Riess, et dont Hittorf a fait une étude détaillée dans son premier mémoire sur les rayons cathodiques (*Pogg. Ann*, t. CXXXVI, p. 1; 1869). Cet auteur a parfaitement reconnu l'influence des dimensions des électrodes sur la résistance d'un tube à gaz raréfié et il a certainement entrevu le rôle des parois. C'est précisément l'étude de ces phénomènes, en particulier de la répulsion exercée par les parois sur ce que j'ai appelé l'afflux cathodique, qui m'a permis de réaliser sans tâtonnements un appareil beaucoup plus dissymétrique que celui de Hittorf, mais fonctionnant de la même manière, et à faire d'un objet de démonstration connu depuis trente ans un appareil de laboratoire.

La grande résistance présentée par la petite électrode quand elle est cathode tient à sa faible dimension et à l'étranglement placé *immédiatement* devant elle pour réduire le débit de l'afflux. Ne fonctionnant que comme anode, cette électrode ne s'échauffe pas. L'électrode en spirale placée loin des parois et présentant un grand développement constitue au contraire une cathode à grand débit, par suite peu résistante, et elle peut évidemment s'échauffer sans inconvénient.

Transformateur. — Le transformateur, à circuit magnétique fermé, consomme 7 à 8 ampères sous 110 volts (42 périodes) et donne entre les bornes secondaires 50.000 volts efficaces. Quand on amène lentement le courant primaire à sa valeur normale, la distance explosive secondaire, mesurée entre des boules de 2 centimètres de diamètre, est de 9 centimètres. Elle peut atteindre accidentellement 20 centimètres, si on établit brusquement le courant primaire[1].

L'étincelle ainsi obtenue est une véritable flamme, de la grosseur du doigt; entraînée par l'air qu'elle échauffe, elle s'élève au-dessus de l'excitateur en formant un arc sinueux, dont le développement peut s'élever à 30 ou 40 centimètres. Elle est accompagnée d'un ronflement particulier qui tient à la périodicité de la décharge.

L'énergie mise en jeu dans ce phénomène est supérieure à 5 kilowatts, et l'intensité primaire dépasse 60 ampères quand la décharge se produit.

On peut modérer ces effets en intercalant un rhéostat dans le circuit primaire, et on arrive à obtenir une étincelle semblable à celle de la bobine de Ruhmkorff, c'est-à-dire un trait de feu avec ou sans auréole.

Ce transformateur, muni ou non d'un appareil redresseur, pourrait à la rigueur être utilisé tel quel. Toutefois sa puissance en rendrait le maniement dangereux et l'usage assez difficile dans le laboratoire, où la diversité des expériences peut se résumer en disant que la source électrique doit pouvoir être mise en court circuit sans que l'intensité de la décharge prenne une valeur exagérée. D'autre part, le voltage indiqué plus haut serait, dans bien des cas, insuffisant, et, pour l'augmenter il faudrait accroître le poids déjà considérable de l'appareil.

Les dispositifs suivants ont pour but de remédier à ces divers inconvénients.

Dispositif secondaire. — Les extrémités libres SS′ du fil secondaire (*fig.* 1 moins la soupape) sont fixées à demeure aux armatures AA′ de deux condensateurs en micanite fixés dans la boîte qui renferme le transformateur. Les armatures BB′ sont munies de deux bornes bb′ auxquelles on attache les rhéophores conduisant par exemple à un excitateur EE′.

---

[1] Il arrive souvent qu'à l'instant du démarrage l'intensité primaire dans un transformateur dépasse momentanément sa valeur normale ; de là un survoltage passager.

Le circuit secondaire est ainsi coupé par les condensateurs, comme dans l'alternateur à haute fréquence de M. Tesla. La quantité d'électricité mise en jeu dans chaque décharge ne peut donc dépasser un maximum défini par la capacité des condensateurs, et fixé d'avance à une valeur compatible avec le bon fonctionnement du transformateur et des appareils récepteurs.

On obtient alors, entre les boules de l'excitateur, un flot d'étincelles brillantes qui ne présentent jamais l'aspect de flamme caractéristique des courants intenses. On peut, sans inconvénient, rapprocher jusqu'au contact les boules EE′, ou les relier par un appareil de résistance minime, et le rapprochement accidentel des rhéophores ne détermine plus une décharge intense, capable de décupler l'intensité du courant primaire. En même temps, tout danger pour l'opérateur a disparu.

On peut à volonté réduire la puissance des décharges et le débit maximum. Il suffit d'ajouter un ou deux petits condensateurs supplémentaires (condensateurs de machine statique, par exemple) en série avec les premiers. On est ainsi absolument maître de la puissance utilisée, et les conditions de chaque expérience sont faciles à définir exactement.

L'expérience a montré que la dépense d'énergie nécessaire pour obtenir des étincelles beaucoup plus fortes que celles d'une bobine de Ruhmkorff, est presque insignifiante. L'intensité primaire reste en effet à peu près la même que pendant la marche à vide. L'énergie consommée par le transformateur est peu supérieure à celle qui correspond à la perte par hystérésis.

Disons, en passant, que le dispositif précédent convient parfaitement pour obtenir l'étincelle condensée, servant, par exemple, à la production des courants à haute fréquence. Il suffit de relier l'excitateur EE′ aux armatures internes d'un couple de bouteilles de Leyde.

Soupape survoltrice. — L'appareil qui vient d'être décrit est l'équivalent d'une machine statique très puissante, mais alternative. Au moyen des soupapes électriques on peut, soit redresser les courants comme je l'ai déjà indiqué, soit éliminer l'une des alternances, ce qui est ici préférable. Pour cela on dispose entre les bornes *bb′* (*fig.* 1) une soupape NP qui n'offre qu'une cohésion diélectrique insignifiante quand l'électrode N est cathode, mais résiste à 60.000 volts pour l'alternance inverse. L'une des alternances passe donc par la soupape et l'autre par

l'excitateur, ou par l'appareil qui le remplace, un tube de Crookes par exemple. La différence de potentiel en EE′ passe ainsi alternativement par une valeur très faible (quelques milliers de volts) et une valeur très élevée, comme avec une bobine de Ruhmkorff. Ce léger inconvénient, d'ailleurs facile à supprimer, est amplement compensé par l'avantage suivant :

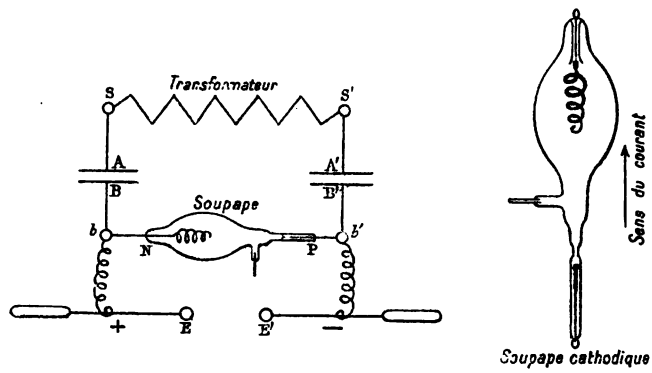


Fig. 1.

Le rôle de la soupape NP ne consiste pas seulement à éliminer l'une des alternances ; le voltage disponible est en même temps considérablement accru. L'étincelle qu'on obtient entre les boules EE′ atteint 18 centimètres au lieu de 9 : entre pointes la distance explosive s'élève à 24 centimètres. Il ne m'est pas possible actuellement de donner de ce phénomène une explication suffisamment fondée.

Dans la pratique, en raison de ce voltage élevé, il convient d'employer non pas une, mais deux soupapes en série. La cohésion diélectrique de chacune d'elles ne dépasse guère en effet 60.000 volts, et il est évidemment préférable de laisser un peu d'élasticité à leur réglage.

L'entretien de ces soupapes est fort simple, il consiste simplement à y introduire un peu d'hydrogène en chauffant dans une flamme le tube de platine dont elles sont munies. L'utilité de cette opération, qui se fait en marche, se reconnaît à ce que les rayons cathodiques émanés de la cathode N deviennent assez énergiques pour provoquer la fluorescence du verre de l'ampoule.

Comme précédemment, des condensateurs additionnels peuvent être ajoutés en série avec ceux du transformateur, avant la soupape.

Subdivision du courant secondaire. — Le transformateur-condensateur permet de résoudre un problème analogue à celui de la division de la lumière électrique. La puissance de l'appareil étant très supérieure à celle dont on a besoin, on peut sans inconvénient alimenter deux groupes de condensateurs disposés en parallèle comme le montre la *fig.* 2, et faire fonctionner deux appareils soit simultanément, c'est-à-dire sur la même alternance, soit sur des alternances opposées. Dans la *fig.* 2 les choses sont disposées de telle sorte que les étincelles EE', $E_1E'_1$ soient alternantes. Il suffirait de retourner la soupape N_1P_1 pour qu'elles soient simultanées.

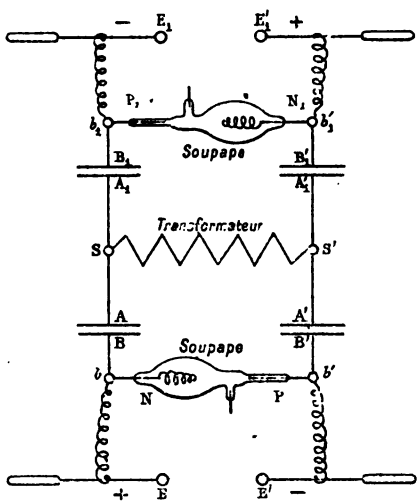


FIG. 2.

Les deux installations AA'BB'NP et $A_1A'_1B_1B'_1N_1P_1$ sont indépendantes et, par suite, il est inutile que les appareils placés en EE', $E_1E'_1$ aient les mêmes constantes électriques. On peut par exemple mettre l'un des excitateurs en court circuit sans que l'autre cesse de fonctionner. En un mot on dispose de deux sources électriques périodiques d'égale puissance, mais distinctes. Rien n'empêche d'ailleurs de relier ces deux sources en quantité dans le cas où un seul circuit est utilisé : on double ainsi le débit disponible.

Étude expérimentale des courants de convection dans une nappe liquide. — Régime permanent : tourbillons cellulaires ;

Par M. H. Bénard [1].

Le transport de chaleur par convection a été fort peu étudié d'une façon systématique. Il semble qu'on ne s'en soit préoccupé que pour l'éviter, lors des mesures de conductibilité thermique des liquides, en particulier dans les méthodes où l'on emploie un *mur* liquide horizontal, traversé par un flux de chaleur vertical uniforme, dirigé de haut en bas.

Des conditions uniformes dans le plan horizontal indéfini sont aussi les plus simples qu'on puisse réaliser pour étudier les courants de convection dans une nappe liquide horizontale : seulement ce sera dans toute l'étendue de la surface de niveau inférieure qu'agira la source chaude ; cette paroi horizontale du fond sera en même temps la face supérieure d'un mur métallique épais, à faces parallèles, traversé de bas en haut par un flux de chaleur vertical uniforme.

Quant à la surface de niveau supérieure de la nappe liquide, on est obligé, pour pouvoir observer les mouvements produits dans cette nappe, de la laisser libre, en contact avec l'atmosphère ambiante. C'est alors en partie grâce aux courants de convection de l'air lui-même que s'effectuent les échanges thermiques entre le liquide et l'atmosphère. Ce choix de conditions aux limites n'est pas le plus simple, car il crée une dissymétrie entre le mécanisme du gain de chaleur par la paroi du fond et celui de la déperdition par la surface libre. De plus, le liquide adhère à la paroi du fond et n'offre de vitesses horizontales finies qu'à une distance finie de cette paroi, tandis que la surface libre présente des vitesses horizontales finies.

L'uniformité des conditions aux limites offre ceci de remarquable qu'elle n'impose, *a priori*, aucune distribution particulière de mouvements ascendants et descendants [1]. Il est évident que le plus léger excès local de température suffit à créer un centre d'ascension, les

---

[1] Séances du 18 mai et 15 juin 1900.

[2] Le cas actuel diffère donc complètement de celui que l'on a souvent réalisé, en plaçant une source chaude ponctuelle immergée dans une nappe liquide (en particulier, P. Czermak, *Wied. Ann.*, t. L, p. 329, 1893, etc.). Les courants liquides ont alors les formes bien connues du champignon à volutes multiples obtenu aussi (Oberbeck, 1877) par écoulement de liquide sous pression à l'extrémité d'un tube cylindrique immergé.

filets ascendants étant d'ailleurs compensés quelque part par des filets descendants d'égal débit ; mais ce que rien ne permet de prévoir, c'est qu'un régime permanent stable soit réalisable. Un tel centre d'ascension, une fois créé par une inégalité locale infiniment petite, c'est-à-dire par le hasard, persistera-t-il au même endroit, ou bien se déplacera-t-il sans loi définie, sans tendre vers une position limite ? L'expérience seule pouvait répondre à ces questions.

En fait, la viscosité seule semble intervenir dans cette question de stabilité ; quand le coefficient de frottement interne est très faible, de l'ordre de celui de l'éther à la température de 15°, la circulation tourbillonnaire qui se produit, sous l'action d'un flux de chaleur notable, est extrêmement instable. La distribution des mouvements varie alors continuellement ; elle s'effectue suivant un type trop compliqué pour être décrit ici, que j'ai enregistré par des procédés chronophotographiques, mais qui est le même pour tous les liquides à température suffisamment élevée ; la volatilité, dans ce cas, intervient d'ailleurs par le refroidissement superficiel et la variation progressive d'épaisseur qu'elle provoque.

Mais, à température suffisamment basse, qui est la température ordinaire pour la plupart des liquides usuels (alcools, hydrocarbures), les mouvements tourbillonnaires produits tendent rapidement vers un état limite remarquablement simple, régime permanent stable, où non seulement les centres d'ascension sont parfaitement localisés, mais où ces centres, régulièrement distribués, sont tous rigoureusement identiques. Ce sont les lois de ce régime stable que j'ai plus particulièrement étudiées.

Description de la circulation stable en régime permanent. — La distribution des mouvements tourbillonnaires dans la nappe liquide réalise, dans ce cas, la *structure cellulaire parfaitement régulière.* Ce sont les surfaces sans rotation instantanée (*surfaces de tourbillon nul*), qui correspondent aux *cloisons* de ces cellules ; ces surfaces sont des plans verticaux, divisant la masse entière en prismes égaux à base polygonale, dont le type le plus parfait est l'assemblage de prismes à bases d'hexagones réguliers égaux.

Dans chacun de ces prismes, que j'appellerai *cellules :*

1° Toutes les trajectoires des particules liquides sont des courbes fermées planes, et tous les plans de ces courbes sont verticaux ; toute trajectoire se projette donc horizontalement suivant un segment de droite ;

2° Toutes ces droites sont concourantes, c'est-à-dire que les plans verticaux en question sont les différents azimuts passant par l'axe vertical de la cellule;

3° Dans chaque azimut, les filets ont la forme représentée *fig.* 1;

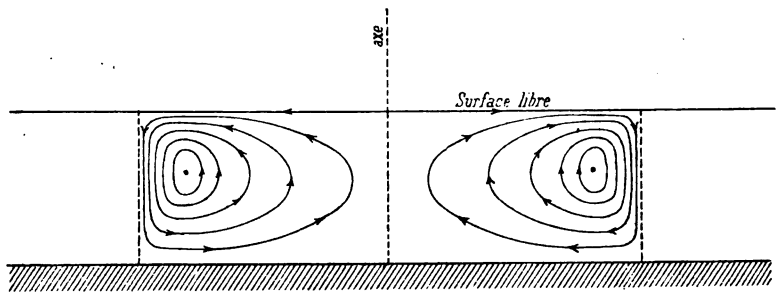


Fig. 1.

les flèches y indiquent le sens de la circulation : ascension du liquide chaud par les parties axiales, refroidissement dans les parties horizontales supérieures, où les filets sont centrifuges, puis descente brusque par la périphérie, près de la cloison cellulaire sans rotation, enfin afflux centripète le long de la paroi solide du fond et de nouveau ascension. Ces filets entourent un point de vitesse linéaire nulle et ont, d'autre part, un rectangle comme enveloppe extérieure. Le lieu des points immobiles forme la *ligne de tourbillon* fondamentale autour de laquelle tournent toutes les trajectoires. Cette ligne a la forme d'un polygone à sommets arrondis, à symétrie hexagonale, dans le cas parfaitement régulier; elle épouse la forme du polygone cellulaire, en s'approchant d'ailleurs très près de la paroi sans rotation, mais ce n'est pas nécessairement une courbe plane.

Sur chaque filet, le mouvement périodique est parfaitement isochrone. Les filets infiniment petits ont la période minimum. A partir de ce point immobile, la période croît, mais lentement, c'est-à-dire que la vitesse angulaire moyenne va en décroissant légèrement. De plus, sur les filets les plus longs, le frottement du liquide contre la paroi du fond crée une inégalité notable entre les durées de parcours des deux moitiés de la trajectoire; la moitié inférieure est parcourue bien plus lentement. Cette dissymétrie se traduit nettement sur la *fig.* 1 : le point immobile est plus près de la surface libre que de la paroi du fond; les filets figurés, à peu près équidis-

tants dans leur partie supérieure, sont de plus en plus écartés dans la portion inférieure du trajet.

Régime variable. — Établissement progressif du régime permanent limite. — Le régime parfaitement régulier, où toutes les cellules sont des prismes hexagonaux réguliers, égaux et alignés, n'est qu'un état limite; mais il semble qu'on puisse s'en approcher autant que l'on veut, au point de vue expérimental, en maintenant assez longtemps l'uniformité rigoureuse des conditions d'épaisseur (liquide non volatil), de température et de flux de chaleur. Dans ce cas, en effet, on constate que les variations du mouvement, en particulier les déplacements et déformations des cloisons cellulaires sans rotation, deviennent de plus en plus lentes, et que toutes ces variations tendent à la plus grande régularité du système. Pour préciser, on obtiendra, au début, très rapidement, en quelques secondes, la division en cellules polygonales à peu près égales, mais de formes très différentes. On en trouvera surtout à quatre, cinq, six ou sept côtés. C'est le cas de tous les clichés reproduits dans cet article. Mais de plus en plus les cellules s'égaliseront, ainsi que les côtés et les angles; les sommets quaternaires accidentels du début disparaîtront, pour donner des sommets ternaires; on pourra suivre, par exemple à l'aide de clichés effectués à intervalles réguliers, la progression constante du nombre d'hexagones. Enfin il n'y aura plus que des hexagones; les déformations seront alors devenues extraordinairement lentes : le régime sera presque rigoureusement permanent; mais cependant les hexagones eux-mêmes continueront à se régulariser et à s'aligner en rangées parallèles sur une étendue de plus en plus considérable de la nappe liquide.

Pour résumer ce qui précède, on peut énoncer les lois suivantes :

Loi de l'état variable initial. — *Avec des conditions uniformes dans le plan, invariables dans le temps, le régime hydrodynamique varie de plus en plus lentement, et toujours par accommodation progressive au régime de stabilité maximum.*

Lois de l'état permanent limite. — *Dans tout plan horizontal de la nappe liquide, tous les éléments du mouvement, vitesse, tourbillon, température, etc., sont distribués périodiquement sur trois directions de rangées, à* 60° *l'une de l'autre, la distance entre deux nœuds étant la même,* λ, *sur toutes les rangées et dans tous les plans*

horizontaux. Pour connaître la loi du mouvement dans la nappe entière, il suffit de la connaître dans un prisme ayant pour base une des mailles du réseau, et même, à cause des six plans de symétrie de l'hexagone, seulement dans un prisme ayant pour base 1/12 de la surface de l'hexagone régulier.

La plus grande partie des mesures effectuées a eu pour but de déterminer les lois qui régissent λ, c'est-à-dire la distance stable de deux centres d'ascension contigus.

Les clichés obtenus par des procédés purement optiques, qui seront décrits dans un second article, montreront avec quelle précision, au point de vue expérimental, il a été possible d'atteindre cet état limite, *créant dans un liquide une symétrie comparable à celle d'un milieu cristallisé, à l'ordre de grandeur près.*

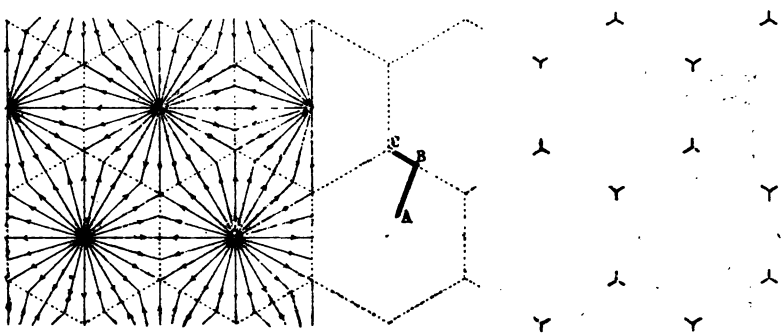
Choix du liquide et des conditions expérimentales. — Le régime cellulaire régulier est réalisé, à la température ordinaire, par la plupart des liquides légèrement volatils (alcools, hydrocarbures, etc.), avec des flux de chaleur extrêmement faibles. Mais, pour éviter d'avoir une épaisseur lentement variable, du fait même de la volatilité, on a préféré opérer à des températures plus élevées, allant de 50° à 100°, avec des corps de volatilité pratiquement nulle à ces températures. C'est le cas d'un certain nombre de corps fusibles vers 50° (corps gras, éthers élevés, hydrocarbures, etc.). Toutes les mesures ont été effectuées, finalement, avec du spermaceti (palmitate de cétyle pur), dans des limites de température allant du point de fusion (vers 46°) jusqu'à 100°.

Méthodes d'enregistrement d'ordre purement mécanique. — La circulation décrite dans ses traits les plus généraux, a été étudiée par deux sortes de méthodes : les unes sont simplement mécaniques et reposent sur l'emploi de poussières solides ; les autres sont purement optiques et seront exposées dans un deuxième article. Je décrirai d'abord les propriétés mécaniques utilisées [1].

Première méthode. — *Particules solides insubmersibles* (de densité inférieure à celle du liquide). — Cette méthode utilise les vitesses finies de la surface libre. Dans chaque hexagone, les filets superficiels sont les rayons, parcourus horizontalement du centre vers la périphérie (*fig.* 2). Un grain de poussière très léger, tombant sur cette surface libre en A, suit d'abord, jusqu'en B, avec la

[1] La description détaillée des appareils et des mesures sera publiée ailleurs.

vitesse même du liquide, le filet superficiel sur lequel il est tombé; arrivé sur le contour du polygone en B, il abandonne le filet liquide plongeant, pour décrire le côté même BC de l'hexagone, mais bien plus lentement, la résultante des deux vitesses superficielles concourantes en B étant désormais seule efficace. Enfin le grain de poussière s'arrête en C, sommet ternaire commun à trois cellules: c'est sa position d'équilibre stable.



Courants superficiels. Enregistrement final des sommets.

Fig. 2.

On utilise ce parcours en ligne brisée comme il suit : on projette sur le liquide un nuage pulvérulent (lycopode); puis, une courte fraction de seconde après, on prend une photographie instantanée de la surface libre. Les grains encore dans l'air ne sont pas au point sur le cliché; ceux qui en sont à la première partie, AB, de leur trajet sur la surface liquide, restent pour ainsi dire invisibles, parce qu'ils sont disséminés sur toute la surface; mais ceux qui en sont à la seconde partie, BC, sont tous réunis sur un lieu composé de lignes et dessinent sur le cliché le contour polygonal par un trait d'une grande finesse (*fig.* 3). On a donc ainsi l'*enregistrement du réseau polygonal.*

Si l'intervalle écoulé depuis l'instant où l'on a projeté le nuage de poussière a été trop long (1 seconde, par exemple), tous les grains sont arrivés aux sommets ternaires; on n'a plus que l'*enregistrement des sommets ternaires du réseau de polygones* par les petits tas de lycopode, désormais immobiles en ces sommets.

Deuxième méthode. — *Particules solides incorporées participant à la circulation* (de densité égale à celle du liquide). — Des grains

de poussière, de densité peu différente de celle du liquide, auquel ils ont été incorporés, décrivent les filets fermés avec des vitesses qu'on peut regarder comme identiques à celles des éléments liquides eux-mêmes. C'est par ce procédé que toutes les mesures d'ordre cinématique ont été effectuées ; on incorpore assez peu de corpuscules (quelques-uns au plus par cellule) pour qu'on puisse les suivre individuellement en projection horizontale sans confusion possible. Dans le dispositif adopté, les grains se détachent en noir sur un fond lumineux, et, de plus, une des méthodes purement optiques,

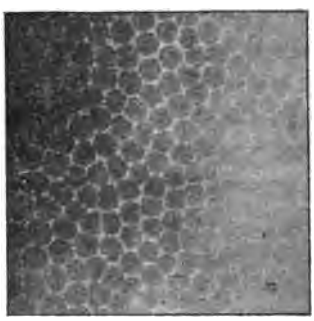


Fig. 3. — Grandeur naturelle. Épaisseur : $0^{mm},950$.

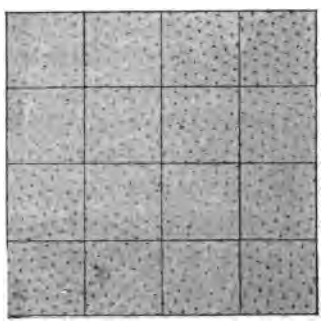


Fig. 4. — Grandeur naturelle. Épaisseur : $0^{mm},440$.

qui seront décrites dans un second article. permet de rendre visible en même temps le réseau polygonal. On peut donc suivre, chronographe en main, les périodes sur les filets de différentes longueurs. Chaque grain oscille en projection horizontale, avec un isochronisme parfait. Cet isochronisme et l'immobilité du segment de droite décrit, dans le champ de la lunette par rapport à des repères fixes, montrent à quel point la permanence du régime a pu être réalisée dans ces recherches ; dans un cas, par exemple, plus de 3.000 périodes, c'est-à-dire une heure environ, se sont écoulées, sans déplacement appréciable du segment de droite décrit.

Il est évident qu'avec un grossissement et un éclairage convenables cette méthode se prêterait, s'il était nécessaire, à l'analyse détaillée du mouvement en projection horizontale, par enregistrement chronophotographique.

Troisième méthode. — *Particules solides déposées* (plus denses que le liquide). — Cette méthode utilise les vitesses horizontales

centripètes au voisinage de la paroi du fond. Des particules solides plus denses que le liquide, primitivement incorporées, peuvent rester très longtemps en suspension, en participant à la circulation; mais le grain lourd, tout en restant dans le même azimut, passe peu à peu sur les filets de plus en plus longs, de sorte qu'une trajectoire en spirale se substitue au filet fermé décrit par un élément liquide. Arrivé sur les filets extérieurs, à forme limite rectangulaire, le grain, dans la partie inférieure de son trajet, est de plus en plus ralenti par le frottement contre la paroi du fond, jusqu'à ce qu'enfin il s'arrête et ne remonte plus. L'afflux centripète qui balaie la paroi horizontale finira par entraîner le grain au centre même de la cellule. On a donc ainsi l'*enregistrement de chaque centre de cellule* par un petit tas de poussière ponctuel, parfaitement net (*fig.* 4).

Si le réseau cellulaire est bien régulier, les petits tas ponctuels sont disposés en quinconces à symétrie senaire; tous les points équidistants se trouvent alignés sur trois directions de rangées à 60° l'une de l'autre. On voit que ce procédé convient parfaitement à la mesure de λ. Pour avoir la surface moyenne de chaque cellule, il suffit de compter sur les clichés le nombre de dépôts ponctuels contenus, par exemple, dans 1 centimètre carré. Quelques grains de poussière dans chaque cellule suffisent [1].

Quatrième méthode. — *Particules solides impalpables en suspension. — Inégalité de distribution.* — Dans les méthodes précédentes, on emploie des corpuscules solides, visibles à l'œil nu ou au moins avec un faible grossissement, qui, suivant leur densité, servent à

---

[1] Un certain nombre de faits, anciennement signalés et restés inexpliqués, sont en relation directe avec ce mécanisme de dépôt et résultent immédiatement de la circulation tourbillonnaire jusqu'ici insoupçonnée. J'en citerai un seul, qui est caractéristique : c'est le dépôt de *globulites* liquides, obtenu par évaporation d'un dissolvant sursaturé, en couche mince, par exemple de globulites de soufre dans l'essence de térébenthine. La régularité anciennement signalée des alignements de ces sphérules (Voir notamment : Frankenheim, *Pogg. Ann.*, t. CXI, 1860; — Behrens, *Die Krystalliten*, 1874; — O. Lehmann, *Molekularphysik*, etc.) résulte, comme celle des dépôts de poussières amorphes, de la régularité des tourbillons cellulaires de la nappe liquide. Ces alignements n'ont, en fait, aucune espèce de relation avec les directions cristallographiques des cristaux de soufre, qui se déposent en même temps ou par la suite. Vogelsang (*Pogg. Ann.*, 1871, t. CXLIII, p. 621) avait cru voir en ces globulites microscopiques les véritables particules de l'édifice cristallin du soufre. J'ai pu obtenir des globulites énormes, de quelques dixièmes de millimètre de diamètre, séparés par des intervalles réguliers de l'ordre de 1 millimètre.

indiquer les vitesses superficielles, intérieures, ou bien tangentes à la paroi du fond. La propriété qui reste à décrire est d'une interprétation moins immédiate : c'est l'inégale distribution des particules solides, extrêmement fines, en suspension sur les filets d'une masse liquide ou gazeuse, siège de courants de convection. Un très petit nombre de faits de cette nature avaient été observés jusqu'à ce jour, se rapportant presque tous aux gaz (1). Lodge, cependant, a montré leur généralité et a fait quelques expériences sur les liquides. Celles que j'ai réalisées moi-même sur les liquides troubles m'ont donné des résultats identiques. On peut les énoncer comme il suit :

1° Au contact immédiat d'un corps solide, plus chaud que la masse fluide qui l'entoure, celle-ci forme une *gaine*, *absolument dénuée de particules solides ;*

2° Cette gaine est particulièrement tranchée et nette, quand les courants de convection sont tangents à la surface du solide ;

3° Quand les filets chauds ascendants quittent le contact de la paroi solide, ceux de ces filets, qui formaient la gaine sans particules, continuent leur route, en régime permanent ou non, également sans particules, dans tout leur parcours. Cette dernière propriété résulte simplement de ce que les particules extrêmement fines se meuvent *avec* le gaz ou le liquide et non pas à travers ce gaz ou ce liquide ; un filet fluide, *filtré* en un point quelconque de son trajet, reste filtré par la suite de son parcours à travers le milieu trouble. Ce prolongement de la gaine forme, par exemple, un *plan* vertical sans particules, au-dessus d'une tige chaude ou d'un objet quelconque chaud ayant une arête supérieure rectiligne. C'est ce plan qui a été observé en premier lieu (en le visant dans la direction de l'arête) par Tyndall. C'est à Lodge qu'on doit d'avoir reconnu la gaine dont il n'est que le prolongement (2).

Ces faits rappelés, sans insister sur leur explication, qui ne peut être donnée, comme l'a montré Lodge, que par les théories ciné-

(1) Tyndall, *Proc. Roy. Inst.*, VI, p. 1 ; 1870 ; — Lord Rayleigh, *Proc. Roy. Soc.*, 21 déc. 1882 ; et *Nature*, XXVIII, p. 139 ; 1882 ; — O.-J. Lodge et J.-W. Clark, *Proc. Phys. Soc. of London*, VI, p. 1 ; 1884 ; et *Phil. Mag.*, [5], XVII, p. 214 ; 1884 ; — J. Aitken, *Proc. Roy. Soc. of Edimb.*, 21 janv. 1884, etc.

(2) Les auteurs cités, ayant surtout opéré sur des gaz illuminés par un faisceau intense, qui rend lumineuses seulement les particules solides, emploient les expressions de gaine sombre, de plan sombre (*dark plane*). Dans mes expériences avec les liquides troubles, observés par transparence, la gaine seule est translucide ; c'est donc une gaine claire, le reste étant opaque. L'expression *gaine sans particules solides* me semble éviter toute ambiguïté.

tiques, c'est-à-dire, en réalité, en faisant intervenir les forces thermiques de Maxwell, les mêmes qui, aux très basses pressions, produisent les mouvements des ailettes des radiomètres, je me bornerai, à l'aide des faits établis eux-mêmes, à prévoir ce que donnera la circulation tourbillonnaire décrite, dans le cas d'un liquide rendu trouble à l'aide de particules en suspension extrêmement fines.

1° Le fond de la cuve, formant paroi chaude, balayée par des courants qui lui sont parallèles, sera tapissé d'une gaine liquide, mince et très nette, dénuée de particules ;

2° Les courants permanents entraîneront cette gaine ; les filets fermés qui la constituent dans la portion horizontale inférieure de leur trajet resteront sans particules sur tout leur parcours.

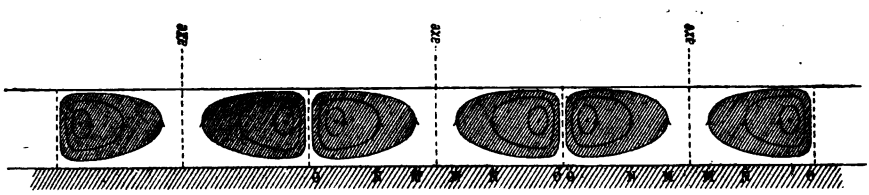


Fig. 5.

C'est bien, en effet, ce que l'on constate par le seul mode d'observation possible, c'est-à-dire *par transparence en projection horizontale :* la *fig.* 5 montre, en coupe verticale, la distribution de matières pulvérulentes. On voit qu'on observera par transmission, en allant de l'axe vers la périphérie, d'abord un centre clair (MM), qui va en se dégradant lentement (MN), puis une zone (NO) d'opacité maximum à peu près constante, enfin, avec une transition brusque, un liseré étroit transparent (OO) traçant le contour polygonal. De plus, les azimuts de la cellule se différencient très nettement; le *noyau* central transparent est étoilé, les prolongements étant dirigés vers les sommets du polygone.

La *fig.* 5 résume un résultat expérimental, indépendant de toute hypothèse. Mais il m'a paru intéressant de rattacher cette inégalité de condensation pulvérulente aux quelques faits antérieurement connus.

Cette observation par transparence n'a pu être faite commodément qu'avec une cuve à fond de verre, chauffée et éclairée uniformément par en dessous. La division cellulaire subsiste; mais, à cause de la

mauvaise conductibilité du verre et des inégalités de conditions thermiques qui en résultent, les formes observées sont beaucoup plus irrégulières qu'avec une cuve métallique [1] (*fig.* 6).

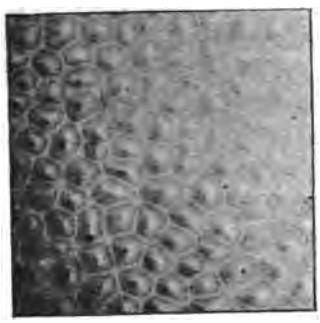


Fig. 6. — Grandeur naturelle. Épaisseur : 1mm,2 environ.

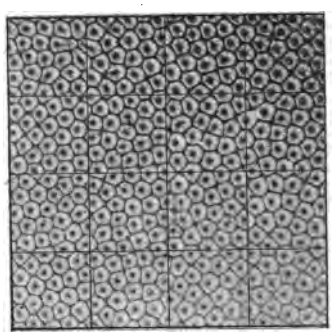


Fig. 7. — Grandeur naturelle. Épaisseur : 0mm,810.

Cinquième méthode. — *Relief des filets internes.* — *Particules brillantes.* — L'inégalité de condensation des matières solides en suspension peut être utilisée, avec une cuve à fond métallique, d'une façon tout à fait différente, mais avec des particules solides de propriétés spéciales ; les conditions qu'elles doivent remplir sont d'être de forme lamellaire et de réfléchir vivement la lumière (graphite, aluminium en poudre). Les lamelles s'orientent de façon à ce que leur plus grande surface soit parallèle aux filets qui les entraînent ; elles tapissent donc tous les filets couverts de hachures

---

[1] A ce procédé par transparence se rattache la seule observation ancienne sur les tourbillons cellulaires que j'aie retrouvée. En 1855, E.-H. Weber (*Pogg. Ann.*) a décrit très minutieusement la division polygonale microscopique, mise en évidence par des particules solides en suspension, qui se forme dans un mélange d'alcool et d'eau s'évaporant en couche très mince sur la lamelle porte-objet d'un microscope. Chose étrange, E.-H. Weber s'est trompé sur le sens même de la circulation sur les filets liquides. O. Lehmann, qui rapporte son observation dans sa *Molekularphysik* (t. I, p. 250), a bien vu l'origine thermique du phénomène et rétabli le sens de la rotation. Quant à Weber lui-même, il n'hésitait pas à attribuer une origine électrique à cette circulation.

Enfin, bien plus récemment, et ici même (*Séances de la Soc. Fr. de Ph.*, année 1897, p. 107), M. A. Guébhard a décrit les tachetages réguliers produits, par les bains développateurs en couche mince abandonnés au repos, sur une plaque photographique voilée. Ces inégalités de développement sont produites par une circulation tourbillonnaire à peu près permanente identique à celle que j'ai observée.

(*fig.* 5), et, si l'on admet que la transition avec les filets sans particules s'effectue brusquement, on voit que la lumière incidente, parallèle ou diffuse, se réfléchira sur la surface limite comme sur un miroir métallique dépoli. Il en résulte un véritable *modelé* de cette surface [1] : le cratère ascendant central forme un cône d'ombre, dessiné dans ses moindres détails, étoilé grâce à la différenciation des azimuts; les parties horizontales supérieures réfléchissent vivement la lumière; enfin la partie descendante abrupte, près de la cloison sans rotation, forme, entre les deux cellules contiguës, comme une coupure étroite, brutale, qui dessine le réseau polygonal par un trait d'ombre extrêmement net. La *fig.* 7, mieux que toute description, montre le relief saisissant qui en résulte; mais la photographie ne peut rendre l'impression du mouvement même que donne l'observation directe : on voit la surface modelée métallique traduire exactement le mouvement permanent de l'espèce de tore étoilé qu'elle revêt.

Les méthodes mécaniques permettraient déjà une étude extrêmement détaillée de la circulation tourbillonnaire, mais n'offrent pas, pour l'étude des formes et des dimensions de cellules, la précision et la sécurité des méthodes optiques qui me restent à décrire. Ces dernières ont seules été employées dans les mesures définitives de dimensions effectuées avec des liquides purs. Seules les mesures de périodes ont été faites à l'aide de grains de poussière incorporés, le nombre de grains étant, d'ailleurs, réduit au strict minimum. Après l'exposition des méthodes optiques, j'indiquerai les résultats numériques.

Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. — Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement;

Par M. Henri Bénard [2].

Dans une nappe mince de liquide qui est, en régime permanent, le siège de la circulation décrite dans un précédent article, les vitesses des courants sont assez considérables pour que les surfaces

---

(1) La reproduction typographique des clichés a malheureusement supprimé bien des détails.

(2) Séance du 1er juin 1899.

isobares ne puissent plus être regardées comme des plans horizontaux. En particulier, la surface libre n'est pas plane; elle présente d'ailleurs exactement les mêmes éléments de symétrie que la circulation interne. Le sens des dépressions superficielles est facile à prévoir, d'après le sens des courants : il faut un excès de pression, pour que l'afflux centripète des couches inférieures, au voisinage de la paroi du fond, puisse avoir lieu, malgré la viscosité du liquide : aux centres de cellules correspondront donc des centres de dépression.

Des méthodes optiques très précises sont nécessaires pour mettre en évidence ces différences de niveau, qui restent extrêmement faibles (de l'ordre de 1 μ au plus pour une épaisseur de 1 millimètre de spermaceti à 100°). Mais leur petitesse même rend intéressante l'application à cette surface liquide des procédés optiques employés pour étudier les petites déformations des surfaces solides polies.

Les méthodes principales qui ont servi, soit à l'observation directe, soit à l'enregistrement photographique, vont être passées rapidement en revue, chacune d'elles ayant une valeur d'information particulière.

D'une façon générale, l'appareil permet de faire tomber sur la nappe liquide un faisceau de lumière rigoureusement parallèle et vertical, et d'étudier soit le faisceau réfléchi par la surface libre, soit le faisceau transmis. Dans ce but, une grande partie du fond plan de la cuve a été simplement dépolie et noircie : dans la partie correspondante du champ, la lumière est uniquement réfléchie par la surface libre du liquide. Mais, au centre de la cuve, un miroir circulaire d'acier, optiquement plan, a été encastré dans le bloc de fonte, son plan coïncidant rigoureusement avec celui du reste de la cuve; ce miroir réfléchit, sous l'incidence normale, le faisceau transmis par la nappe liquide. Dans la portion correspondante du champ, on a donc superposition du faisceau simplement réfléchi par la surface libre, et du faisceau transmis par la nappe, réfléchi sur le miroir d'acier et réfracté de nouveau à la sortie; mais, ce dernier étant de beaucoup le plus intense, la superposition des deux faisceaux n'offre aucun inconvénient quand on veut observer ou photographier le second. Dans une des méthodes, on les utilise d'ailleurs tous les deux pour les faire interférer.

On ne peut songer à décrire ici les dispositifs particuliers à cha-

cune de ces méthodes. Toutes comportent les parties essentielles suivantes :

1° Un système convergent à axe optique horizontal, qui concentre la lumière d'une source intense, monochromatique ou blanche, suivant les cas, sur un très petit prisme à réflexion totale, isocèle, rectangle, diaphragmé par un écran dont l'ouverture, circulaire, a moins de 1 millimètre de diamètre.

2° Une lentille achromatique, à long foyer (60^c) dont l'axe optique est rigoureusement vertical. Le petit prisme à sa face horizontale diaphragmée située dans le plan focal de cette lentille, et le centre du petit trou est à 0^c,15 de son axe optique. Le faisceau parallèle incident forme donc avec la verticale un angle de quelques minutes seulement : si la réflexion avait lieu sur un miroir plan horizontal, l'autocollimation donnerait une image conjuguée située dans le même plan focal, à 0^c,30 seulement du petit trou lui-même.

3° Le faisceau réfléchi, soit par la surface libre du liquide, soit par le miroir d'acier, repasse par la lentille collimatrice. Suivant la position d'un second prisme à réflexion totale, placé au-dessus du plan focal et mobile entre glissières, on peut le recevoir soit dans une lunette à axe optique horizontal, dont l'oculaire a une très grande course, soit dans une chambre photographique dont l'objectif a son axe optique vertical.

Enfin un troisième système optique récepteur, dont l'axe est horizontal, permet l'étude du faisceau réfléchi, sans le faire repasser par la lentille collimatrice : c'est alors une lame à faces parallèles, inclinée à 45°, placée au-dessous de cette lentille, qui renvoie horizontalement le faisceau à étudier sur l'axe d'un banc d'optique ; mais la glace a l'inconvénient de doubler les images.

Première méthode. — Franges d'interférence à grande différence de marche dans l'air entre la surface libre du liquide et une surface plane horizontale. — Cette méthode, qui n'utilise que la lumière réfléchie par la surface libre, donne directement les courbes de niveau de cette surface. En employant une des sources intenses monochromatiques de l'arc électrique jaillissant dans le vide entre deux électrodes de mercure (longueur d'onde : 0$^\mu$,4358), tel que l'emploient MM. Pérot et Fabry [1], on a pu arriver à concilier les condi-

---

[1] *C. R.* t. CXXVIII, p. 1156 ; 1899 ; — et *J. de Phys.*, 3e série, t. IX, p. 369 ; 1900.

tions d'intensité lumineuse et de bonne visibilité des franges, de façon à les photographier, malgré leur mobilité que toutes les précautions ne peuvent supprimer complètement, et cela avec une durée de pose de $0^s,2$ environ.

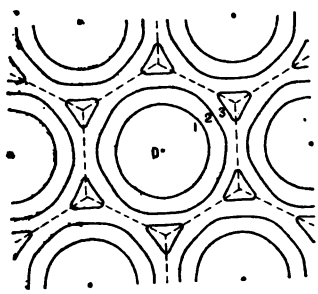


Fig. 1.

La *fig.* 1 donne les courbes de niveau dessinées dans le cas où le régime permanent limite (hexagonal régulier) est supposé établi. La description des formes que présente cette surface peut se résumer à l'aide des expressions usitées en topographie : .

Le centre de chaque hexagone cellulaire est un *ombilic* concave, *centre de dépression.* Chaque sommet ternaire commun à trois polygones est un *sommet* topographique (presque un trièdre). Le réseau polygonal est constitué de *lignes de faîte*, séparant les uns des autres les différents *bassins*; la surface libre de chaque cellule forme chacun de ces bassins hexagonaux. Une *ligne de thalweg* joint deux à deux les ombilics concaves contigus ; ce thalweg est d'ailleurs très peu dessiné et s'évanouit complètement aux ombilics. Lignes de thalweg et lignes de faîte se coupent à angle droit aux *cols*, qui sont les milieux des côtés de l'hexagone: en ces points, la courbe de niveau présente un point double. Les lignes de faîte sont, — relativement, — de véritables crêtes, séparant deux *versants* presque plans au voisinage immédiat de la crête [1].

Tous les points homologues étant sur la même courbe de niveau, on voit que la seule définition de cette surface, même si l'on ne savait rien de la circulation interne, conduirait, dans le régime per-

[1] Dans la région du champ occupée par le miroir d'acier, ces crêtes forment donc de véritables biprismes: on obtient en effet les franges correspondantes, parallèles à la crête.

manent limite, à définir les mêmes éléments de symétrie et la même périodicité sur trois directions de rangées à 60° l'une de l'autre.

Deuxième méthode. — Foyers et lignes focales remarquables. — La surface libre formant miroir, on peut obtenir en particulier, en mettant convenablement au point, dans chaque cas, le système optique récepteur :

1° Les foyers en quinconce des miroirs concaves que forment les ombilics;

2° Le réseau polygonal de lignes focales, que donnent les crêtes fonctionnant comme miroirs cylindriques convexes.

Si l'on utilise la lumière transmise par la nappe liquide et réfléchie par le miroir d'acier, on obtient :

3° Les foyers en quinconce des lentilles concaves que forment les ombilics (lentilles plan-concaves, doublées par le miroir d acier);

4° Le réseau polygonal donné par les crêtes fonctionnant comme lentilles cylindriques convexes.

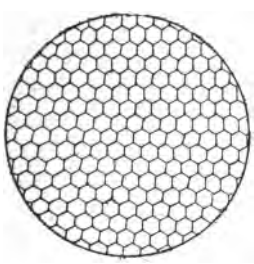


Fig. 2. — Grandeur naturelle (calqué sur une photographie). Température : 60°. Épaisseur : 640μ.

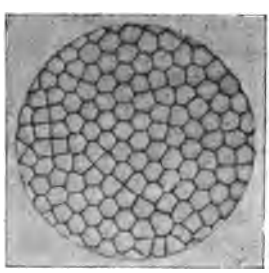


Fig. 3. — Grandeur naturelle. Température : 88°. Épaisseur : 755μ.

On peut calculer les rayons de courbure correspondants d'après la mise au point de la lunette réceptrice, mais ces mesures manquent de précision, car la mise au point optimum est mal définie : les aberrations sont inévitables, chaque bassin cellulaire se comportant à peu près dans sa partie centrale, comme un miroir hyperbolique ; on ne peut songer à diaphragmer toutes les cellules, pour n'utiliser que les miroirs sphériques osculateurs aux ombilics concaves.

Les foyers ponctuels (1° et 3°) donnent un mode d'enregistrement purement optique du quinconce formé par les centres de cellules. — Les lignes focales (2° et 4°), enregistrent le réseau de polygones. —

Le quatrième procédé est particulièrement avantageux pour la photographie : on obtient le réseau dessiné par un trait lumineux intense, régulier et fin, comme tracé au tire-ligne. — C'est le procédé qui a été seul utilisé pour les mesures définitives des dimensions transversales des cellules (*fig.* 2 et 3 reproduites en négatif).

Troisième méthode. — Relief exagéré de la surface libre (*lumière réfléchie, ou lumière transmise*). — On connaît la méthode admirable de Foucault pour rendre visibles, en les exagérant des milliers de fois, les moindres défauts des miroirs de télescopes. Un procédé analogue permet d'observer les plus petites inégalités d'une surface presque plane, par rapport au plan parfait. Il suffit, dans le dispositif décrit, de déplacer un petit écran dans le plan focal de la lentille collimatrice, de façon à intercepter, dans la portion la plus rétrécie du faisceau de retour, les rayons les plus inclinés dans une certaine direction. La lunette ou la chambre photographique qui reçoit le reste du faisceau est mise au point sur la surface libre elle-même : on obtient un relief énormément exagéré de cette surface, qui paraît éclairée en lumière parallèle oblique. Ce procédé convient surtout en lumière transmise. La *fig.* 4 montre le résultat obtenu : comme

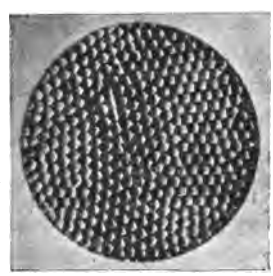


Fig. 4. — Gandeur naturelle.
Température : 90°. Épaisseur : 450μ.

tous les reliefs, il faut savoir dans quel sens l'interpréter : avec l'exagération qu'il donne, les crêtes paraissent des arêtes vives, bien que le rayon de courbure minimum réel soit encore de 15 centimètres. La sensibilité de ce procédé a permis de déceler des différences de niveau inférieures à $0^{\mu},01$ correspondant à des pentes de $\frac{1}{500.000}$ par rapport au plan horizontal.

Quatrième méthode. — Franges d'interférence entre les deux faces de la lame liquide elle-même. — Le dispositif général est le même : on utilise la région du champ occupée par le miroir d'acier ; mais la source employée est l'arc au mercure dans le vide. On a en lumière monochromatique, les franges d'interférence entre le faisceau réfléchi par la surface libre et le faisceau réfléchi par le miroir d'acier. Elles donnent les courbes d'égale différence de marche, et leurs formes tiennent à la fois à la répartition des épaisseurs et à la répartition des températures internes de la nappe liquide, c'est-à-dire des indices de réfraction. Comme on connaît, par les méthodes précédentes, les courbes de niveau de la surface libre, la méthode actuelle renseigne donc sur la distribution des isothermes moyens, la moyenne étant faite sur chaque verticale. L'axe de chaque cellule est d'ailleurs la droite verticale la plus chaude ; le résultat de la comparaison donne donc l'ordre de grandeur des écarts extrêmes des températures des divers points de la nappe liquide. Ces différences sont très faibles, de l'ordre de 1° au plus [1].

Les franges données par la lame liquide ont tout à fait les formes dessinées *fig.* 1 ; si le miroir d'acier est bien plan et rigoureusement horizontal, leur régularité est parfaite : le même motif se répète indéfiniment ; mais leur mobilité et le peu d'opposition entre les maxima et les minima, dû à la grande inégalité des faisceaux interférents, les rend bien difficiles à photographier.

ÉTUDE QUANTITATIVE DU RÉGIME PERMANENT.

Les mesures effectuées ont été d'ordre géométrique, cinématique, thermométrique et dynamique. J'indiquerai d'abord le principe des méthodes et la précision de chaque espèce de mesures.

1° *Mesures d'ordre géométrique.* — Les épaisseurs de la nappe liquide sont mesurées avec une erreur probable de 2μ environ, soit une erreur relative de $\frac{1}{250}$ à $\frac{1}{500}$. Le procédé consiste à amener une

(1) Une expérience d'un tout autre genre renseigne sur les isothermes superficiels. On laisse refroidir très lentement le liquide jusqu'à sa température de solidification : les isochrones de solidification sont identiques à ce que seraient les isothermes superficiels, en régime rigoureusement permanent : la solidification commence aux sommets et les courbes en question ont des formes analogues aux courbes de niveau de la *fig.* 1. L'hétérogénéité des températures de la nappe a donc suffi dans ce cas à créer des cloisons inter-cellulaires solides.

pointe fine, visée par un microscope à long foyer, en contact avec son image donnée par réflexion sur la surface liquide; le déplacement vertical de la pointe est amplifié par un levier portant une croisée de réticule que l'on vise à l'aide d'un cathétomètre.

Les différences de cotes des divers points de la surface libre sont mesurées à $0^{\mu},02$ près, sur les clichés de franges.

Les dimensions latérales des cellules s'obtiennent en comptant sur les photographies du réseau polygonal, le nombre d'hexagones qui couvrent une surface donnée, celle du miroir d'acier circulaire. Ce dénombrement a été effectué, en projection, sur une centaine de clichés analogues à ceux que reproduisent les *fig.* 2 et 3 : il est nécessaire, cela va sans dire, d'évaluer la valeur des fractions de cellules qui se trouvent coupées par le cercle limitant le champ. Les valeurs qu'on en déduit pour la distance entre les centres des cellules contiguës, distance qu'on désignera désormais par λ, ont une précision relative très grande, du même ordre que celle des mesures d'épaisseur $\left(\frac{1}{200} \text{ à } \frac{1}{500}\right)$.

2° *Mesures d'ordre cinématique.* — Ce sont des mesures de périodes. A l'aide de la lunette horizontale décrite, on suit, en projection horizontale, les oscillations isochrones d'une particule solide incorporée, qui se détache en noir sur le fond lumineux brillamment éclairé que limite le disque d'acier; on mesure la durée des oscillations à l'aide d'un chronomètre à pointeur. Pour rendre visibles les contours des cellules, il suffit de provoquer en même temps, par la troisième méthode optique, le relief de la surface libre : on peut donc évaluer la longueur des filets projetés horizontalement.

3° *Mesures d'ordre thermique* (flux de chaleur et températures). — Le bloc cylindrique de fonte précédemment décrit, qui sépare la nappe liquide de l'étuve à 100°, est parfaitement protégé contre toute déperdition latérale : de cette façon, les isothermes sont des plans horizontaux et le flux de chaleur vertical est uniforme dans tout le plan. On s'en assure à l'aide de couples thermo-électriques très sensibles (fer-constantan) et l'on calcule ce flux vertical, en mesurant la différence des températures en deux points de l'axe du cylindre situés à 5 centimètres de distance verticale. Pour avoir une précision relative de $\frac{1}{20}$ sur les mesures de flux, il a fallu étudier, pour les couples et le galvanomètre, les dispositifs les

plus sensibles, donnant la différence des deux températures à 0°,005 près.

A défaut de procédé thermométrique direct pour déterminer la température moyenne de la nappe liquide, on a pris la température du fond de la cuve, déduite des mesures thermo-électriques effectuées en différents points sur l'axe du bloc. La quatrième méthode optique (franges formées par la lame liquide elle-même) a justifié cette assimilation, puisque la couche liquide n'a certainement pas, entre ses divers points, de différences de température dépassant 1°.

Pour étudier l'influence de la température sur les dimensions transversales, on a provoqué une variation continue, mais très régulière et extrêmement lente des conditions thermiques; pour cela, le bloc, préalablement chauffé à 100°, est abandonné à lui-même, protégé contre toute déperdition latérale ou inférieure. La chaleur emmagasinée ne peut s'écouler que par convection à travers la nappe liquide. Avec ce dispositif, la variation des conditions thermiques est assez lente pour offrir toute sécurité au point de vue des lois du régime permanent. La vitesse de refroidissement est d'abord, au voisinage de 100°, de 0°,006 par seconde; elle n'est plus que de 0°,001 par seconde, au voisinage de 50°. Le refroidissement de 100° à 50° dure quatre heures. On obtient, en prenant des clichés à intervalles égaux, et effectuant des lectures simultanées au galvanomètre, autant de données numériques qu'on le désire. Aucune étuve à température fixe ne donnerait une constance plus parfaite. Des expériences effectuées avec des vitesses de refroidissement tout à fait différentes, ont donné, pour la loi des dimensions en fonction de la température, des courbes exactement superposées, ce qui justifie la méthode, en prouvant que les dimensions des cellules, s'accommodent, sans retard appréciable, aux conditions thermiques lentement variables (1).

LOIS NUMÉRIQUES.

I. — *Lois des dimensions transversales.*

1° *Influence de l'épaisseur.* — La loi grossièrement approchée, qu'ont révélée les premières mesures, est la proportionnalité des

(1) Cet article se rapportant exclusivement au *régime permanent*, on ne décrira pas ici le mécanisme de multiplication des cellules et de leur résorption. On trouvera tous les renseignements relatifs à l'état variable des courants dans deux articles parus dans la *Revue générale des Sciences*. (15 et 30 décembre 1900).

dimensions transversales à l'épaisseur. Autrement dit, les prismes cellulaires restent semblables quand l'épaisseur croît [1]. Les mesures précises ont montré l'existence d'écarts systématiques et notables. Les nombres suivants sont extraits d'une série effectuée avec du spermaceti à 100° par la méthode des dépôts pulvérulents (troisième méthode mécanique, p. 208) :

Épaisseur e	Rapport $\frac{e}{\lambda}$
$0^{mm},440$	0,296
0 ,570	0,291
0 ,644	0,286
0 ,700	0,274
0 ,853	0,247

On trouvera plus loin les résultats définitifs à diverses températures.

2° *Influence du flux de chaleur.* — A l'ordre de précision des mesures, le flux de chaleur variant, la distance stable λ entre deux centres d'ascension contigus ne varie pas, la température restant la même; toutefois, il faut faire quelques réserves : les variations du flux étaient peu considérables.

3° *Influence de la température.* — La *fig.* 5 résume les résultats : on a porté en abcisses les températures du liquide, de 100° à 50°, et en ordonnées les valeurs du rapport $\frac{e}{\lambda}$. On voit l'ordre d'approximation de la loi $\frac{e}{\lambda}$ = constante, aux diverses épaisseurs.

a) De 100° à 50°, le rapport $\frac{e}{\lambda}$, pour une épaisseur déterminée croît, passe par un maximum, puis décroît jusqu'à disparition des courbures superficielles (*Surf. pl.* sur les courbes). Il y a donc entre 100° et 50°, une température pour laquelle les cellules passent par une dimension minimum. La température de ce minimum est, d'ailleurs, plus élevée aux faibles épaisseurs qu'aux grandes. Il a lieu :

Vers 89°	pour	$e = 0^{mm},50$
Vers 60°	pour	$e = 1^{mm},00$.

[1] M. Guébhard (*loc. cit.*) avait trouvé la même loi pour son tachetage des plaques voilées abandonnées sous une couche mince de bain développateur.

b) D'une façon générale, les variations relatives du rapport $\frac{e}{\lambda}$ sont d'autant plus faibles, à température variable, que l'épaisseur est plus faible.

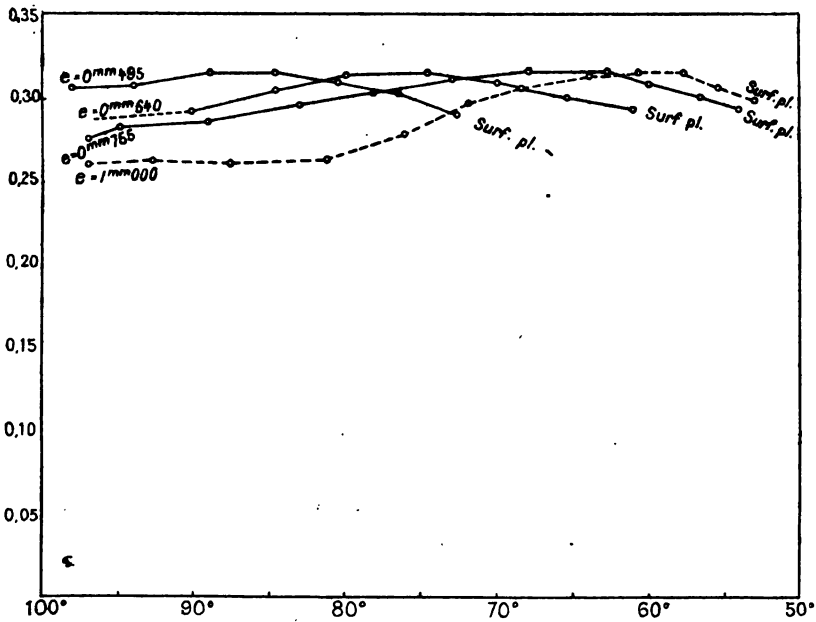


Fig. 5.

c) Quelle que soit l'épaisseur, tous les maxima de $\frac{e}{\lambda}$ sont égaux, à $\frac{1}{500}$ près, c'est-à-dire à l'ordre même de précision des expériences, l'épaisseur variant du simple au double [1].

Entre 100° *et* 50°, *la surface du polygone cellulaire de spermaceti passe par un minimum. Pour ce minimum, quand l'épaisseur varie du simple au double, la similitude des prismes hexagonaux est rigoureuse.*

d) Les courbes montrent que la même similitude, avec une autre

---

[1] En réalité, une correction négligée déforme très légèrement les courbes, et rend l'égalité des maxima moins rigoureuse ; elle subsiste à $\frac{1}{50}$ près seulement : tous les maxima sont compris entre 0,299 et 0,306.

valeur du rapport $\frac{e}{\lambda}$, a lieu, pour toutes les épaisseurs étudiées, quand la surface libre devient plane au degré de précision de l'appareil.

e) Enfin, relativement à la durée du régime variable initial, on peut remarquer que, plus l'épaisseur est faible, plus le régime permanent limite (hexagonal régulier) s'établit vite et facilement. A ce point de vue, il y a une différence énorme entre les épaisseurs de $0^{mm},5$ et 1^{mm}.

II. — *Résultats relatifs aux différences de cotes de la surface libre.*

a) Pendant le refroidissement de 100° à 50°, les dépressions diminuent d'abord très vite, puis de plus en plus lentement; leurs variations sont de même sens que celles du flux de chaleur, mais plus rapides.

b) A épaisseur croissante, les dépressions relatives vont en croissant notablement.

c) Aux épaisseurs faibles, la surface libre est plane bien plus tôt qu'aux épaisseurs plus considérables. Les courbes de la *fig.* 5 confirment tout à fait ce résultat.

d) Les mesures absolues les plus précises donnent :

Spermaceti, épaisseur 1^{mm}. État permanent à 100° (avec flux de chaleur maximum).

Différence de cote entre un ombilic concave et un sommet.	$0^{\mu},96$
Différence entre un ombilic concave et un col.....	$0^{\mu},75$

III. — *Lois des périodes et des vitesses.*

1° *Distribution des périodes dans chaque azimut.* — Les filets infiniment courts qui entourent le point immobile, ont la période minimum et la période croît d'abord très peu, puis plus rapidement, quand on passe sur des filets plus longs. Par suite de la viscosité du liquide, le mouvement est surtout ralenti dans la portion inférieure de chaque trajectoire, par suite de l'adhérence à la paroi du fond, ce qui crée une dissymétrie notable entre les deux portions de chaque trajectoire : la *fig.* 1 du précédent article (page 204) indique cette dissymétrie. Mais ce n'est que sur les filets tout à fait exté-

rieurs que la période s'allonge énormément. (La longueur inscrite est évaluée en projection horizontale en prenant comme unité la plus longue).

Longueur du filet	Période.	Vitesse ang. moy.	Vitesse linéaire moy. (cm par s.)
< 0,1	1s,50	4,19	»
0,1	1 ,59	3,95	0,04
0,2	1 ,90	3,31	0,07
0,3	1 ,98	3,17	0,10
0,5	2 ,32	2,70	0,14
0,9	2 ,92	2,14	0,20

On voit que si la vitesse angulaire moyenne décroît légèrement, à partir du point immobile, les vitesses linéaires continuent à croître très notablement.

2° *Influence de l'épaisseur.* — Il n'y a guère que les périodes minimum qu'on puisse comparer avec quelque précision.

On a trouvé la période minimum très sensiblement proportionnelle à l'épaisseur, en régime permanent à 100°. On en conclurait comme loi approchée, pour les filets les plus courts, l'égalité des vitesses linéaires en des points homologues, si le frottement, contre la paroi du fond, ne s'opposait à la similitude rigoureuse des formes des filets et des vitesses, quand l'épaisseur varie.

3° *Influence du flux de chaleur.* — Les mesures simultanées de périodes minimum et de flux de chaleur à travers la nappe, effectuées pendant le refroidissement, ont donné la loi approchée suivante, dans une étendue très considérable de variations :

La période minimum varie, à épaisseur égale, en raison inverse du flux total transporté.

On en conclut que *le flux est proportionnel aux vitesses en un point donné.* Ici encore, ce résultat ne peut être qu'approché : on mesure les vitesses sur les filets intérieurs, tandis que les échanges de chaleur s'effectuent, en réalité, surtout sur les filets extérieurs.

On peut d'ailleurs énoncer autrement les résultats expérimentaux : *la quantité de chaleur rayonnée par la surface libre est proportionnelle à la vitesse avec laquelle cette surface se renouvelle, grâce aux courants.*

4° *Ordre de grandeur du flux de chaleur transporté par convection.* — A 100°, dans l'appareil construit, une cellule de spermaceti de

1 millimètre d'épaisseur, transporte environ 10^{-2} joules par seconde, sous forme de chaleur. Il y a environ huit de ces cellules par centimètre carré. L'énergie cinétique de la cellule, en régime permanent, est 10^9 fois plus faible. Au point de vue énergétique, un milliardième de seconde suffirait à la mise en marche des courants, en supposant que le liquide ait déjà sa température moyenne identique à celle qu'il aura en régime permanent. Le rapprochement est artificiel, car l'état variable tient à de tout autres causes ; mais il montre l'énormité de la chaleur transportée, grâce aux courants de convection, renouvelant constamment les couches superficielles, qui rayonnent vers l'atmosphère extérieure.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

SÉANCE DU 5 JANVIER 1900.

PRÉSIDENCE DE M. LE GÉNÉRAL BASSOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 décembre 1900 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BARBÉ, docteur en médecine, à Alençon.
BRANAS (Gonzalo), professeur à l'Institut provincial, à La Corogne (Espagne).
FRÉMONT, docteur en médecine, à Caen.
LEYMARIE, professeur au Lycée d'Evreux.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle a faite en la personne de M. *Vaschy*, ingénieur des Télégraphes, examinateur et répétiteur à l'Ecole polytechnique, ancien secrétaire et membre du conseil de la Société. M. Vaschy était l'auteur de travaux très remarquables sur la théorie des phénomènes électriques; il a souvent communiqué à la Société ses vues originales et profondes.

Son *Traité d'Electricité* restera comme une des œuvres les plus intéressantes de la littérature scientifique de ces dernières années. M. Vaschy est mort prématurément enlevé par l'excès de travail.

Télégraphie sans fil; par M. TISSOT. — M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL communique, au nom de M. le lieutenant de vaisseau TISSOT, professeur à l'Ecole navale, les principales conclusions du rapport que cet officier a rédigé sur ses expériences. M. Tissot, en utilisant, en particulier, les excellents appareils fournis par M. Ducretet, a réalisé des communications parfaites entre divers postes, particulièrement entre l'île d'Ouessant et la côte ; il a d'ailleurs étendu les communications jusqu'à une distance de 42 kilomètres entre l'île d'Ouessant et l'île Vierge.

Mais les expériences de M. Tissot fournissent, en dehors du résultat pratique, divers renseignements scientifiques intéressants; il a, en effet, étudié d'une façon systématique les conditions dans lesquelles il convient de se placer, en examinant successivement tous les organes de la transmission. Il montre ainsi que l'on obtient de très bons résultats avec un oscillateur simple; qu'il est de toute nécessité d'établir des communications avec la terre; la communication d'une des électrodes avec la terre crée d'ailleurs une dissymétrie qui n'est pas sans inconvénient avec les bobines ordinaires; sans doute des bobines du type Wydts et Rochefort se comporteraient mieux à cet égard. M. Tissot étudie le rôle de l'antenne; comme M. Voisenat l'avait déjà constaté, il est inutile de la munir d'une capacité à la partie supérieure; il ne semble pas qu'il y ait une relation simple entre la longueur de l'antenne et la distance de la communication. Pour le récepteur, il convient de ne pas employer des tubes trop sensibles; M. Tissot obtient de très bons résultats avec des tubes de sensibilité moyenne, mesurée par la méthode de M. Branly; ces tubes reviennent mieux que les autres; le relais préféré est le relais Claude, à cadre mobile, déjà préconisé par M. Voisenat.

Pour parer aux effets de l'électricité atmosphérique, l'antenne réceptrice est avantageusement mise en communication constante avec la terre par une dérivation constituée par une bobine de self-induction; on évite d'ailleurs la fermeture constante à travers la terre sur le relais en coupant la communication de l'antenne avec le radio-conducteur par un condensateur; l'inclinaison et l'orientation de l'antenne ne semblent pas avoir grande influence.

M. Tissot s'est aussi préoccupé de rechercher si, en se conformant aux indications de la théorie, on peut espérer réaliser, comme M. Marconi a annoncé qu'il avait réussi à le faire, mais au moyen d'un procédé gardé secret, la syntonie de l'appareil ondulateur et de l'appareil récepteur; les expériences sur ce sujet ne sont point terminées.

Absorption des radiations hertziennes par les liquides; par M. Edouard Branly. — Les radiations électriques se transmettant comme les radiations lumineuses, il y a lieu de chercher, comme on l'a fait pour ces dernières, l'absorption par les différents milieux.

Des feuilles métalliques très minces donnent lieu à une absorption complète : c'est le cas de feuilles d'étain de moins de 8 millièmes de millimètre d'épaisseur, recevant des radiations définies par certaines conditions expérimentales.

M. Branly a cherché récemment comment ces *mêmes* radiations se comportaient par rapport à plusieurs liquides.

Le liquide exposé au rayonnement est contenu dans une caisse cubique de 60 centimètres de côté, dont la face supérieure est ouverte; les parois du fond et de trois des faces latérales sont en verre épais encastré dans une carcasse de zinc; la quatrième face latérale est une épaisse plaque de

zinc offrant en son centre une ouverture carrée, de 20 centimètres de côté, par laquelle on pénètre dans une boîte en bois qui contient un radio-conducteur. Par le liquide versé dans la cuve, la boîte centrale en bois est entourée d'une couche de 20 centimètres d'épaisseur, sauf sur la face d'entrée, qui est hermétiquement close par une porte métallique assujettie par des écrous.

Le producteur d'ondes est une bobine d'induction dont les étincelles éclatent entre les deux boules d'un excitateur.

Le récepteur est le radio-conducteur introduit dans le réduit central, il est intercalé dans le circuit d'un élément Leclanché et d'une sonnerie. La sonnerie se fait entendre quand le rayonnement électrique transmis par le liquide détermine l'accroissement de conductibilité du radio-conducteur. Au bruit de la sonnerie, on ouvre la porte métallique et, par un choc, on rétablit la résistance du radio-conducteur.

Les distances auxquelles le radiateur agit sur le récepteur sont beaucoup plus grandes quand la cuve est vide ou pleine d'huile, que lorsqu'elle contient de l'eau distillée ou de l'eau ordinaire. Elles deviennent très petites quand le liquide de la cuve est de l'eau contenant en dissolution une petite quantité d'un sel métallique, d'un acide ou d'un alcali.

Les expériences ont été faites avec de l'eau contenant du sel marin, du sulfate de zinc, du sulfate de cuivre, du sulfate de soude, de la soude, de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide bromhydrique, de l'acide nitrique.

Un exemple fera comprendre la marche des expériences et la grandeur de l'absorption.

Les chiffres désignant en mètres les distances auxquelles le radiateur cessait d'agir sur le récepteur, on obtient, en remplissant la cuve d'eau ordinaire, puis de solutions de sel marin, les nombres suivants :

Eau de la Vanne.....	$9^m,50$
Eau salée (1 kilogramme de sel marin dans 185 litres)..	$0^m,30$
Eau salée (2 kilogrammes de sel marin).....	0

Le nombre 0 indique que le radiateur appliqué contre la paroi de verre de la cuve ne produisait aucun effet.

Il est bon de noter que de l'eau de mer contiendrait pour la capacité de la cuve un poids de sel marin voisin de 5 kilogrammes et produirait par conséquent une absorption complète des radiations hertziennes sous une épaisseur notablement inférieure à 20 centimètres.

Explication nouvelle de la propagation de la lumière à travers les milieux doués d'une absorption élective. — M. Sagnac montre comment son explication cinématique de la transmission de la lumière à travers la matière (Séance du 17 novembre 1899) s'adapte à la *dispersion anomale.*

Il faut alors faire intervenir surtout les importants *changements de phase*

qui accompagnent la réflexion des vibrations sur les particules absorbantes assimilées à des *résonateurs*. L'exemple des résonateurs hertziens montre que l'emprunt d'énergie par émission ou par transformation en chaleur a deux effets principaux :

1° A chaque *période propre* θ_0 du résonateur correspond une *bande d'absorption* d'autant plus étalée que l'amortissement des *vibrations propres* dû à l'emprunt extérieur d'énergie est plus considérable ;

2° Les *vibrations forcées* du système résonant éprouvent une avance de phase quand leur période θ est inférieure à θ_0, un retard quand θ est supérieure à θ_0, un changement de phase de $\frac{1}{4}$ de période quand θ prend la valeur θ_0.

De là résultent : du côté violet de la bande d'absorption, une avance de phase des vibrations réfléchies par la surface du corps absorbant et une diminution de l'indice de réfraction ; puis, du côté rouge de la bande d'absorption, un retard de phase par réflexion et une augmentation de l'indice de réfraction.

Pour $\theta = \theta_0$, les changements de phase introduits par l'absorption s'éliminent sensiblement d'eux-mêmes pour les *vibrations transmises ;* mais le changement de phase de $\frac{1}{4}$ de période affecte la *réflexion* sur le corps absorbant. Ce dernier phénomène, particulièrement fréquent pour les métaux dans l'étendue du spectre visible, ne se présente pas dans la réflexion des vibrations hertziennes sur un miroir de dimensions beaucoup plus grandes que la longueur d'onde, sans doute parce que les *particules matérielles* ne sont pas résonantes et que l'induction électrique s'exerce alors dans l'*ensemble de la masse* superficielle dont elle met surtout en jeu la *conductibilité électrique ;* au contraire, pour les vibrations lumineuses visibles et pour des métaux tels que l'argent, il semble permis de négliger le phénomène d'induction électrique dans l'ensemble de la masse *superficielle*.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1898-1899.

MESSIEURS,

La Commission que vous avez nommée dans votre précédente réunion a l'honneur de vous rendre compte de l'exécution de son mandat.

Le compte de l'exercice clos le 30 novembre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1898		391,83
Cotisations arriérées	273,97	7 856,67
» 1899	7 582,70	
Entrées		140,00
Souscriptions perpétuelles		900,00
Intérêt du capital		2 189,00
Vente des publications de la Société		2 506,40
Subvention ministérielle		240,00
Remboursement de 7 obligations		3 464,65
Don d'un membre anonyme (Volume II des Constantes)		9 600,00
— de M. Gauthier-Villars (Volume II des Constantes)		743,25
— de M. de Coppet (Recueil des Constantes)		1 000,00
Produit de la vente d'une dynamo		400,00
TOTAL DES RECETTES		29 431,80

Dépenses.

Loyer du siège social		600,00
Supplément pour séances extraordinaires et emploi des machines		20,00
Traitement de l'agent		2 200,00
Abonnements et reliures		506,55
Indemnité pour le service de la bibliothèque		300,00
Bibliothèque circulante		67,60
Frais de bureau, étrennes, distribution du *Bulletin* et des *Ordres du jour* 1897-98-99		2 490,95
Recouvrement des cotisations		219,25
Frais d'expériences		210,75
Séance de Pâques		670,55
Gravure du *Bulletin*		114,37
Impressions — Gauthier-Villars	11 157,45	15 809,70
Impressions — Deslis Frères	4 333,80	
Impressions — Divers	318,45	
Achat de 5 obligations		2 343,20
Dépenses diverses		202,40
TOTAL DES DÉPENSES		25 755,92
D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1899, de		3 675,88

Si, dans le résumé ci-dessus, on laisse de côté l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles, les dons, le remboursement et l'achat des obligations, on voit que les recettes normales de la Société ont été, pendant l'Exercice, de 12 932 fr. 07, tandis que les dépenses courantes ont atteint 13 68 fr. 87.

La différence en moins, qui s'élève à 136 fr. 80, s'explique aisément par le paiement, dans le cours de l'exercice, de diverses sommes relatives à l'impression et à la distribution des ordres du jour et de plusieurs fascicules du *Bulletin* des Séances, des années 1897 et 1898 (Compte Deslis).

Détail des comptes relatifs aux publications.

M. Gauthier-Villars :

	fr.
Impression du tome II du Recueil des Constantes	10 343,25
— de circulaires, cartes, etc	301,30
Frais de vente de volumes	512,90
TOTAL	11 157,45

Il est à noter que, dans le compte ci-dessus, les dépenses relatives à l'impression du tome II du Recueil des Constantes, tiré à 1 200 exemplaires, et qui se sont élevés à 10 343 fr. 25, ont été couvertes par le don d'un membre anonyme et par celui de M. Gauthier-Villars, mentionnés à l'article « Recettes ».

Situation.

La situation de la Société, au 30 novembre 1898, se résume ainsi :

Actif.

	fr.
156 obligations Midi, Est et Ouest, achetées 64 604 fr. 80 et valant au 30 novembre 1898	70 653,70
En caisse, au 30 novembre 1898	3 675,88
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	74 329,58

Passif.

Mémoires dus à MM. Deslis Frères :

	fr.	
Bulletin des séances	883,10	
Ordres du jour des séances	455,25	
Divers	458,50	
		1 806,85
D'OU RESSORT UN EXCÉDENT D'ACTIF DE		72 522,73

parmi lesquels il convient de distinguer :

Fonds Guebhard pour l'entretien de la bibliothèque	9 000
Dons pour le Recueil des Constantes	6 000

Actif non immédiatement réalisable.

Volumes en dépôt chez M. Gauthier-Villars :

Coulomb	597	3663 volumes à 6 fr.	21 978,00
Ampère I	652		
— II	784		
Pendule I	771		
— II	859		
Constantes I	798	1710 volumes à 7 fr. 50	12 825,00
Constantes II	912		
Cotisations à recouvrer estimées à			500,00
TOTAL DE L'ACTIF NON IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE			35 303,00

Statistique.

Au 1er décembre 1898	867	Membres
Reçus en 1899	41	—
TOTAL	908	
A déduire :		
Décédés 11 / Démissionnaires ou rayés 17	28	
Membres au 1er décembre 1899	880	

Savoir :

411 à Paris,
310 en province,
159 à l'Etranger,
880

Les membres perpétuels sont au nombre de 260, savoir :

243 (dont 43 décédés, ayant versé	200 francs),	soit	48 600
5 —	150		750
6 —	100		600
6	50		300
MONTANT DES SOUSCRIPTIONS PERPÉTUELLES			50 250

Le chiffre des souscriptions perpétuelles, augmenté des dons reçus avec affectation spéciale (non réalisée), soit :

$$50250 + 15000 = 65250 \text{ francs},$$

est légèrement supérieur à la valeur (64604 fr. 80) des obligations de chemins de fer français, possédées par la Société et comptées au prix d'achat. Il n'en sera plus de même lorsque le nombre de ces titres sera de nouveau porté à 158 (chiffre de l'année dernière). La Commission ne saurait trop

recommander cette opération, lorsque les circonstances en permettront l'exécution sans nuire à la situation budgétaire. La diminution du nombre des membres de la Société, constatée pour la première fois, à la fin de l'exercice précédent, ne s'est pas heureusement renouvelée cette année, l'effectif ayant augmenté de 13 (880 au lieu de 867).

Les formalités relatives à la délivrance du legs de 1000 francs fait par M. Martin (de Chartres) et mentionné dans le précédent Rapport ne sont pas encore terminées.

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier ; elle vous propose, Messieurs, d'approuver les comptes ci-dessus exposés et vous demande de vouloir bien adresser des remerciements à M. de la Touanne, qui s'est consacré à ses nouvelles fonctions avec un zèle et un dévouement dignes d'éloges.

Paris, 28 décembre 1899.

Les membres de la Commission,
GIRARDET, A. POINCARÉ et POLLARD, Rapporteur.

SÉANCE DU 19 JANVIER 1900.

PRÉSIDENCE DE MM. LE GÉNÉRAL BASSOT ET CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. MASSOULIER, professeur de Physique au Lycée de Nantes.

M. LE PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1898-1899 a été adressé à tous les membres de la Société et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. LE PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. PELLAT (H.); Professeur à la Faculté des sciences.
Vice-Secrétaire : M. SAGNAC (G.). Préparateur à la Faculté des sciences.

Sont élus membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. Lauriol (P.), ingénieur des Ponts et Chaussées;
Poincaré (Henri), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences;
Teisserenc de Bort (Léon), directeur de l'Observatoire météorologique de Trappes;
Weiss (Georges), professeur agrégé à la Faculté de Médecine.

Membres non résidants :

MM. Bjerknes (V.), professeur à l'Université de Stockholm;
Bouasse (H.), professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse;
de Coppet, de Lausanne;
Weiss (Pierre), maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

Sur la proposition du Conseil, M. Raveau est élu membre de la Commission du *Bulletin*.

M. le général Bassot, avant de quitter la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède le fauteuil à M. Cornu, président pour l'année 1900.

Sur l'épaisseur des couches de passage; par M. G. Vincent. — On admet généralement qu'un corps solide ou liquide ne doit pas être considéré comme homogène jusqu'au voisinage immédiat de sa surface. La couche superficielle qu'il faut traverser, en pénétrant dans l'intérieur du corps, avant d'arriver à une constitution constante, c'est ce que l'on appelle une *couche de passage*. Pour mettre une pareille couche en évidence, on étudiera une ou plusieurs propriétés du corps et leur loi de variation avec la profondeur.

Avant d'exposer ses propres recherches, M. Vincent résume brièvement les travaux de Reinold et Rücker sur les bulles de savon et ceux de Quincke sur les couches solides minces d'argent, d'iodure et de sulfure d'argent. Ces expériences s'interprètent facilement dans l'hypothèse des couches de passage; mais ce n'est pas ce que les auteurs ont fait, et, comme l'interprétation — notamment pour le cas de Quincke — est douteuse, de nouvelles expériences étaient nécessaires.

M. Vincent a cherché à étudier les couches de passage des lames minces d'argent en examinant comment la conductibilité électrique de ces lames varie avec l'épaisseur.

Les couches étaient préparées par voie chimique sur des plaques rectangulaires de glace. Aux extrémités de chaque couche, on a épaissi le dépôt d'argent afin d'y pouvoir appliquer les électrodes qui servent à amener le courant. Les résistances ont été mesurées par la méthode du pont.

La quantité qu'on a mesurée, c'est, sur chaque couche, la *conductibilité superficielle*, c'est-à-dire l'inverse de la résistance ρ, évaluée en ohms, d'un carré découpé en une région choisie à volonté sur la couche, ce carré étant orienté de façon que les lignes de courant soient parallèles à l'un des côtés. Une méthode différentielle a permis d'éliminer *rigoureusement* toute correction et toute résistance parasite (fils de communication, électrodes, etc.).

Les épaisseurs ε ont été mesurées, après transformation en iodure, par deux méthodes, l'une dont le principe est dû à Fizeau et que M. Meslin a rendue exacte et précise, l'autre dont le principe est dû à Wiener.

Les résultats obtenus, représentés graphiquement en prenant ε et $\frac{1}{\rho}$ comme coordonnées, ont conduit aux conclusions suivantes :

1° *Toute couche d'argent, dont l'épaisseur dépasse* 50 $\mu\mu$, *est composée d'une couche homogène de conductibilité constante, comprise entre deux couches de passage de conductibilité moindre mais fixe, dont l'épaisseur est invariable.*

2° *La somme des épaisseurs de ces deux couches de passage est environ* 50 $\mu\mu$.

Ces résultats, rapprochés de ceux de Quincke, montrent que ceux-ci doivent être interprétés dans l'hypothèse des couches de passage; il en est de même pour ceux de Reinold et Rücker, et toutes les conclusions ainsi présentées se confirment et s'éclairent mutuellement.

L'expérience n'atteint sur chaque couche mince que la somme des épaisseurs de passage ; mais on est amené à penser que chaque épaisseur est la moitié de la somme des deux et vaut donc 25 $\mu\mu$.

Quant au rayon d'activité moléculaire, qu'on n'atteint pas ainsi, comme l'avait cru Quincke, tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il est au plus égal à l'épaisseur 25 $\mu\mu$ d'une seule couche de passage.

Sur les propriétés des corps radio-actifs; par M. et Mme Curie. — M. et Mme Curie ont continué leurs recherches sur les substances radio-actives. — La matière employée pour obtenir ces substances est un résidu de fabrication de l'urane provenant d'une usine de Joachimsthal, en Bohême. La Société centrale de Produits chimiques s'est chargée de ce traitement. On extrait actuellement trois substances fortement radio-actives de ce résidu : le polonium, le radium et une troisième substance qui a été séparée par M. Debierne. — Le polonium est voisin du bismuth ; on obtient des substances très actives en précipitant par l'hydrogène sulfuré une solution chlorhydrique aussi acide que possible. — L'activité du polonium diminue lentement avec le temps.

Le radium est voisin du baryum; on enrichit le chlorure de baryum radifère en le soumettant à des cristallisations fractionnées et à des précipitations par l'alcool. — M. Demarçay a établi que le radium possède un spectre caractéristique. — Le poids atomique du métal est plus grand dans le chlorure de baryum radifère que dans le chlorure de baryum ordinaire (avec le dernier produit examiné on a obtenu 146, au lieu de 137). — On peut prévoir dès maintenant que l'isolement du radium

serait facile, si on disposait d'une quantité suffisante de matière très active.

Les composés solides du radium augmentent d'activité à partir du moment où ils sont déposés à l'état solide; cette augmentation tend vers une certaine limite qui n'est pas encore atteinte après un mois. — On régénère l'activité initiale en faisant passer les composés par l'état de dissolution.

Les composés du radium sont tous lumineux; mais le chlorure et le bromure, à l'état parfaitement sec, donnent des effets particulièrement intenses. — M. Curie montre à la Société divers échantillons lumineux. — Il montre également les effets de phosphorescence provoqués par les rayons du radium agissant sur le sulfate d'uranyle et de potassium et sur le sulfure de zinc.

M. Curie présente à la Société un électroscope disposé pour les mesures de radio-activité. — Les rayons du radium, en agissant à petite distance sur des substances inactives, leur communiquent une *radio-activité induite* temporaire, qui disparaît progressivement. — Les substances au contact avec un sel de radium ou qui restent en dissolution avec lui acquièrent également une activité induite plus ou moins persistante. — On obtient, par l'action des radiations du radium, un grand nombre de réactions identiques à celles que produit la lumière : réduction des sels d'argent, du peroxyde de fer, du bichromate de potasse en présence des matières organiques. — Mais les rayons du radium produisent encore certaines actions qui leur sont spéciales : coloration du verre, de la porcelaine, du papier blanc, transformation du platinocyanure de baryum, de la variété vert jaune en une variété brune.

M. Giesel a préparé du platinocyanure de baryum radifère, qui brunit spontanément et dont les cristaux polarisent alors la lumière à la façon de la tourmaline. M. Giesel a montré également que certains sels alcalins, par exemple le sel gemme, se colorent par l'effet des rayons du radium, comme sous l'effet des rayons cathodiques ou comme dans la vapeur des métaux alcalins. — M. Giesel a observé que le radium, approché de la tempe ou de l'œil fermé, produit une sensation lumineuse.

M. Mascart considère les travaux qui viennent d'être exposés comme dignes des plus grands éloges. Le nom de M. Curie restera attaché à une nouvelle méthode physico-chimique qui conduira, sans doute, à des découvertes aussi admirables que la méthode instituée par Kirchhoff et Bunsen ou bien encore de Lord Rayleigh et Ramsay.

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1900.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. DURAND, censeur du Lycée Carnot, à Tunis (Tunisie).

M. PELLAT, élu Vice-Président;

M. SAGNAC, élu Vice-Secrétaire; MM. LAURIOL, Henri POINCARÉ, Léon TEISSERENC DE BORT, Georges WEISS, BJERKNES, BOUASSE, DE COPPET, Pierre WEISS, élus Membres du Conseil;

M. RAVEAU, élu Membre de la Commission du *Bulletin*, adressent leurs remerciements à la Société.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société que le *Congrès des réunions savantes* s'ouvrira, à la Sorbonne, le mardi 5 juin prochain, à deux heures précises. Ses travaux se poursuivront durant les journées des mercredi 6, jeudi 7 et vendredi 8 juin. Le samedi 9 juin, le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts présidera la séance générale de clôture, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne.

Sur la mesure interférentielle des diamètres des petits astres; par M. MAURICE HAMY. — En 1868, Fizeau a fait remarquer que l'observation de franges d'interférence pourrait peut-être permettre de déterminer une limite supérieure du diamètre apparent des étoiles.

Si l'on place devant l'objectif d'une lunette un écran percé de deux fentes parallèles, et si l'on vise un astre, on obtient, comme on sait, dans le plan focal, un système de franges d'interférences. Les franges ne sont visibles que si l'angle apparent de la source située en avant des ouvertures est suffisamment petit. En effet chacun des points de cette source produit un système de franges particulier; pour qu'il n'y ait pas confusion complète des franges, il est nécessaire que l'angle apparent ε de la source, vue du premier point nodal de l'objectif, soit plus petit que l'angle apparent d'une frange, vue du point nodal postérieur.

On part de là pour établir une relation approchée entre le diamètre ε et la distance des fentes qui correspond à l'évanouissement des franges.

L'expérience a été réalisée par M. Stephan (1873), qui se servait du grand télescope de l'observatoire de Marseille. Plaçant devant l'objectif un écran lunulaire, qui ne laissait passer la lumière que par les deux bords

opposés, il aurait pu déceler l'existence d'un diamètre apparent de 0",2. En fait, les étoiles de 1re, 2e et 3e grandeur observées ont un diamètre apparent inférieur à cette limite.

Depuis, vers 1892, M. Michelson a étudié avec soin la théorie de ces expériences et en a vérifié toutes les conséquences, en employant d'abord des sources terrestres de diverses dimensions. Puis, se servant d'un équatorial de 12 pouces, il a mesuré le diamètre des satellites de Jupiter.

M. Maurice Hamy a repris cette étude, dans le but de substituer des fentes larges, laissant passer beaucoup de lumière, aux ouvertures assez étroites employées dans les recherches antérieures. Il a trouvé une formule qui résout la question. Des expériences ont été réalisées avec le grand équatorial de l'Observatoire de Paris. Les premières mesures, que l'auteur communique à la Société, ont été faites dans des conditions atmosphériques peu favorables (nuits de juin et juillet). Néanmoins, leurs résultats sont bien concordants. Les écarts sont, en général, d'un jour à l'autre, inférieurs à un dixième de seconde. En rejetant les nombres les plus élevés, pour lesquels les irrégularités de réfraction atmosphérique ont dû augmenter le diamètre apparent, les résultats définitifs sont, respectivement, pour les satellites de Jupiter :

I	II	III	IV
0",98	0",87	1",28	1",31

Pour ces mêmes astres, M. Michelson avait trouvé :

1",02	0",94	1",37	1",31

Il y a là une bien remarquable coïncidence.

M. Maurice Hamy a appliqué la même méthode à la mesure du diamètre apparent de la planète Vesta et a trouvé 0",54.

Or c'est identiquement le nombre que M. Barnard avait trouvé par des mesures micrométriques directes faites avec l'énorme lunette de l'observatoire Lick; la méthode interférentielle fournit le même résultat avec bien plus de facilité.

L'auteur termine en montrant que, malgré sa grande sensibilité, la méthode interférentielle est impuissante à nous faire connaître le diamètre apparent des *étoiles*. Si, en effet, on transportait le soleil à la distance où se trouve de nous, par exemple, l'étoile α du Centaure, son diamètre apparent tomberait au-dessous du centième de seconde; et, pour le déceler, même par la méthode interférentielle, l'instrument d'observation devrait avoir un diamètre de plus de 12 mètres!

A vrai dire, on peut imaginer des appareils interférentiels applicables, théoriquement, à l'étude des diamètres des étoiles et fondés sur l'emploi d'une lunette de dimensions ordinaires, mais les difficultés expérimentales sont telles, qu'elles ne paraissent pas devoir être surmontées.

Sur les surfaces de discontinuité des champs de vecteur. — M. Broca donne des développements au sujet de l'interprétation du théorème de Vaschy,

dans le cas où, de part et d'autre d'une surface de discontinuité du vecteur, le champ est dû à une même cause. Dans ce cas, on peut étendre aux champs qui ne dérivent pas d'un potentiel le théorème établi par Maxwell, quand il y a un potentiel et que la cause du champ est la même. Il y a, en effet, dans le cas où il n'y a pas de potentiel, une fonction qui en joue le rôle et qu'on peut appeler le potentiel élémentaire du champ. Quand elle est continue, le théorème s'applique, et on peut alors l'énoncer sous la forme suivante : Dans tous les champs dérivant d'une même cause, la composante normale d'un vecteur peut seule être discontinue sur une surface de discontinuité.

La démonstration de Maxwell comporte identiquement la même hypothèse, mais elle est voilée dans son raisonnement. La normalité de la discontinuité est donc liée à la continuité d'une fonction autre que le vecteur, et non à l'existence ou à la non-existence d'un potentiel.

Théorie thermodynamique du refroidissement musculaire. — M. Broca indique l'interprétation thermodynamique de deux phénomènes qui ont été découverts par M. Ch. Richet et lui. Le muscle, qui se contracte pendant l'asphyxie, se refroidit d'autant plus qu'il est plus tétanisé, et en même temps il change de constitution, puisqu'il ne tarde pas à entrer en rigidité cadavérique. C'est le contraire de ce qui se passe dans la contraction ordinaire où le muscle chauffe. Ceci s'interprète ainsi : Si une réaction exoénergétique se produit en donnant Q d'énergie libre, et si un phénomène physique lié à ce phénomène absorbe au milieu ambiant q de chaleur, l'énergie non compensée transformable en énergie extérieure sera $Q + q$. Si une partie est employée à produire une réaction endoénergétique absorbant $Q' > Q$, on pourra mettre en évidence, si le phénomène n'est pas infiniment lent, le refroidissement. Cette réaction nécessaire se traduit par la modification du tissu musculaire qui produit la rigidité cadavérique.

Le muscle se comporte alors comme un élément Latimer-Clark, qui contiendrait un vase où le courant produit ferait une électrolyse convenable. Dans ce cas, on pourrait voir le refroidissement se produire, au lieu que, si le circuit était métallique, l'état initial et l'état final du conducteur étant le même, il y aurait un échauffement forcé.

Tout ceci ne préjuge d'ailleurs rien sur la forme de l'énergie mise en jeu dans le muscle, le phénomène électrique n'est présenté ici que pour fixer les idées. La seule hypothèse est que le postulatum d'Helmholtz sur l'énergie non compensée s'applique à toutes les formes même biologiques de l'énergie.

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1900.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BEAU, répétiteur général au Lycée de Tunis (Tunisie);
GUTTON (C.), ancien élève de l'École normale supérieure, docteur ès sciences, chef des travaux de physique à la Faculté des Sciences de Nancy;
SAMAMA (A.), PRINCE DE CHIKLI, à Tunis (Tunisie).

M. LE PRÉSIDENT annonce l'envoi fait, à la Société, par le Comité de réception des fêtes du Jubilé de Sir G.-G. Stokes de la copie en bronze de la belle médaille offerte à cet illustre savant.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL communique à la Société deux notes de M. COMBET, professeur au Lycée de Tunis :

Dans la première, intitulée : *Essai de représentation des phénomènes magnétiques et électriques et de la génération des ondes électriques*, l'auteur, dans le but de faire comprendre la théorie électro-magnétique, développe une comparaison entre les phénomènes électriques et les phénomènes élastiques, qui se peuvent produire dans un corps gazeux ou dans un corps liquide.

Dans la seconde, M. COMBET signale une expérience qu'il a faite en collaboration avec M. SAMAMA : Une feuille de carton recouverte de papier d'argent se recouvre d'une lueur assez vive, lorsqu'on la place au voisinage de l'excitateur, dans le dispositif de Tesla ; les auteurs décrivent les aspects divers du phénomène suivant les circonstances.

Les déformations électriques des diélectriques solides isotropes; par M. PAUL SACERDOTE. — Plusieurs physiciens avaient étudié expérimentalement ces phénomènes ; d'autres avaient essayé d'en prévoir les lois par la théorie ; mais tous les résultats, aussi bien théoriques qu'expérimentaux, étaient en contradiction les uns avec les autres.

M. Sacerdote s'est proposé d'élucider la question ; il rappelle tout d'abord que, dans un mémoire récemment publié, il a montré : qu'en se fondant sur les principes fondamentaux de la thermodynamique on peut établir très simplement les formules de déformations des diélectriques des condensateurs, même en tenant compte (comme cela est absolument nécessaire, et on l'a souvent oublié) des variations qu'éprouve la constante diélectrique par les déformations mécaniques; — il résume les résultats qu'il a ainsi obtenus et leur traduction sous forme de lois simples.

Il montre ensuite que toutes les divergences que présentaient les résultats des théories précédemment faites n'étaient dues qu'à des erreurs, et qu'une fois celles-ci rectifiées tous les résultats partiels précédemment obtenus redonnent des formules comprises dans celles de sa théorie.

Parmi les expériences, la plupart confirment les prévisions théoriques ; quant aux quelques autres, il montre que, probantes au point de vue qualitatif, elles doivent être entièrement rejetées au point de vue quantitatif.

M. Sacerdote montre enfin que ces déformations électriques des diélectriques sont dues à une double cause :

Les déformations correspondant aux termes des formules qui contiennent les coefficients élastiques ne sont que les déformations élastiques dues aux forces connues qui agissent sur le diélectrique (forces mises en évidence par les expériences de M. Pellat et qui deviennent les pressions électrostatiques pour les portions de surface où le diélectrique est en contact avec les armatures).

Les déformations correspondant aux termes des formules qui contiennent les coefficients de variation de la constante diélectrique par les déformations auraient, au contraire, une toute autre cause : elles seraient dues à un changement dans l'état moléculaire de la substance, corrélatif de la perturbation de l'éther, qui constitue la création du champ électrique.

Pour les gaz, cette seconde cause subsiste seule et produit la contraction électrique des gaz observée par Quincke.

Contribution à l'étude du rayonnement du radium. — M. H. Becquerel rappelle d'abord les observations qu'il a faites, il y a plusieurs mois, sur l'excitation de la phosphorescence de diverses substances par le rayonnement du radium au travers de divers écrans. L'effet, variable pour un même écran et les divers corps, met en évidence l'hétérogénéité du rayonnement du radium.

Les nouvelles expériences de M. Becquerel sur la déviation d'une partie du rayonnement du radium dans un champ magnétique conduisent à la même conclusion. Dans un champ magnétique uniforme, le rayonnement dévié décrit des hélices s'enroulant sur des cylindres de rayon R sin α, α étant l'angle que fait chaque élément de la trajectoire avec l'axe du champ. Pour une direction normale au champ, la trajectoire est fermée : c'est une circonférence de rayon R. L'impression photographique dans le cas des expériences est un arc d'ellipse dont les axes sont 2R et πR.

Le rayonnement est dispersé dans le champ magnétique en radiations dont les trajectoires ont des rayons de courbure différents, et on obtient sur la plaque photographique un spectre continu. En plaçant sur la plaque photographique non enveloppée divers écrans, papier, aluminium, mica, verre, platine, cuivre, plomb, on obtient les spectres d'absorption de ces substances pour des rayons caractérisés par le produit constant, $H\rho$, de la

composante normale de l'intensité du champ par le rayon de courbure de la trajectoire.

Les rayons les plus déviés sont les plus absorbés.

M. Becquerel signale ce phénomène inattendu que, pour les rayons les plus déviés, l'absorption est variable avec la distance de l'écran à la source; quand l'écran absorbant est placé très près de la source, il se comporte comme transparent pour des rayons qu'il arrête, lorsqu'il est sur la plaque photographique.

Les valeurs des produits $H\rho$, relatifs aux limites d'absorption, sont variables d'un corps à l'autre, entre 300 et 2.600 unités C. G. S. Elles sont du même ordre que les valeurs du même produit pour les rayons cathodiques. Elles permettent d'évaluer l'intensité du champ électrostatique qu'il conviendrait de réaliser pour rechercher l'existence d'une déviation électrostatique.

M. P. Villard interprète de la manière suivante les phénomènes singuliers observés par M. Becquerel avec les écrans absorbants :

A la suite des expériences de Hertz et de M. Lénard, on s'est fait une idée certainement fausse du passage des rayons cathodiques au travers des lames minces; la conservation de la vitesse, constatée par M. Lénard, ne se comprend qu'avec l'hypothèse ondulatoire ; elle est inadmissible dans l'hypothèse balistique, aujourd'hui acceptée par M. Lénard lui-même.

En réalité, les projectiles cathodiques ne traversent nullement les obstacles à la manière d'une balle qui passe au travers d'une plaque de métal en conservant sa direction et perdant une partie de sa vitesse. Si, en effet, on dispose une lame mince de magnésium ou d'aluminium *obliquement* aux rayons incidents, l'axe du faisceau plus ou moins diffus qui est transmis ne prolonge pas la direction d'incidence; *il est toujours normal* à la lame. Ce phénomène a été antérieurement décrit par l'auteur (Société de Physique, avril 1897).

Il convient d'admettre, avec M. J.-J. Thomson, que la feuille métallique devient cathode secondaire aux points où elle reçoit les rayons directs. Elle restitue, sous forme cathodique, l'énergie qu'elle reçoit sous cette forme, la déperdition portant sur le nombre et non sur la vitesse des rayons. La pseudo-réflexion normale à l'obstacle, également signalée par l'auteur (*loc. cit.*), s'explique ainsi sans difficulté. Cette émission orthogonale ne paraît pas comparable aux transformations des rayons X.

Il est possible que les choses se passent d'une manière analogue dans l'expérience de M. Becquerel : le fait que la lame d'aluminium placée sur la plaque photographique ne transmet que les rayons les plus rapides indique que ceux-ci ont seuls une énergie suffisante pour provoquer une émission secondaire appréciable. Mais cette lame émet des rayons ayant toutes les vitesses jusqu'à un certain maximum ; si elle est placée près de la source, la dispersion magnétique se produisant sur le trajet que les rayons parcourent pour atteindre la plaque donne un spectre continu

identique à celui de la source primitive, à l'intensité près. L'anomalie signalée par M. Becquerel disparaît ainsi complètement.

Si la lame d'aluminium est disposée en forme de petite gouttière cylindrique dont l'axe passe par la source, l'émission orthogonale par sa face externe donnera sensiblement les mêmes effets de déviation, d'ombres portées, que si les rayons directs traversaient le métal en conservant leur direction. Il n'y aura de différence appréciable qu'au voisinage immédiat du bord de la gouttière reposant sur la plaque sensible.

SÉANCE DU 2 MARS 1900.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 février est lu et adopté;

Est élu membre de la Société :

M. DOMERGUE, résident à Haïphong (Tonkin).

Gazomètre à pressions constantes et variables à volonté de M. Riban. — M. RIBAN présente à la Société un nouveau gazomètre réalisant les conditions suivantes, que l'on ne rencontre pas dans les gazomètres usuels :

1° Grande constance du débit, grâce à une pression hydrostatique rigoureusement constante ;

2° Faculté de graduer cette pression suivant les besoins et même de la mesurer ;

3° Possibilité de purger le gazomètre de toute trace d'air ou de gaz résiduel d'opérations précédentes ;

4° Possibilité d'éviter les pertes de gaz, ou les rentrées d'air, pouvant résulter des variations de la température extérieure.

Ce gazomètre a été construit, sur les indications de M. Riban, par M. Golaz.

Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et l'induction unipolaire, par M. C. RAVEAU. — I. Oersted, après avoir découvert le moyen de faire agir l'électricité voltaïque sur un aimant, en réunissant par un conducteur les deux pôles de la pile, a formulé la loi qualitative des actions électromagnétiques, dont Ampère a légèrement simplifié l'énoncé. Après les premières expériences de Biot et Savart, Laplace proposa une loi élémentaire, en raison inverse du carré de la distance ; Biot seul semble avoir complété la formule en introduisant le sinus de l'angle que fait la direction de l'élément avec la droite qui la joint au pôle. Plus

tard, Savary, après avoir, le premier, déterminé tous les coefficients de la formule élémentaire des actions électrodynamiques, qu'Ampère n'avait pas réussi à établir complètement, calcula pour l'action d'un solénoïde, indéfini dans une direction, sur un élément de courant, une force dont l'expression est semblable à celle de Biot, mais qui en diffère essentiellement en ce qu'elle est appliquée non au pôle, mais à l'élément. Ampère a insisté à plusieurs reprises sur cette distinction, mais il a montré que l'action d'un circuit *fermé* sur un pôle est la même, qu'on admette la force de Biot, ou qu'on suppose une force égale et opposée à la force de Savary.

Si l'on admet à la fois la loi de Biot et celle de Savary, l'action et la réaction ne sont plus égales. Ampère, qui croyait cette égalité nécessaire, même dans le cas des actions élémentaires, a cru en trouver une vérification dans une expérience de rotation électromagnétique. M. Raveau observe que le raisonnement d'Ampère suppose implicitement que l'on peut, sans rien changer par ailleurs, supprimer des *portions* de courant.

Dans un mémoire récent (*Ann. de Wiedemann*, décembre 1899), M. E. Lecher s'est élevé contre l'interprétation des expériences de rotation électromagnétique, basée sur la loi de Biot; la démonstration générale d'Ampère suffit à établir que cette interprétation, qui ne s'impose pas, est acceptable. La discussion des raisonnements de M. Lecher montre qu'il a admis comme nécessaire un principe, également arbitraire, qui conduirait à la formule de Savary.

II. Au sujet de l'induction unipolaire, M. Raveau émet les opinions suivantes :

1° Toutes les expériences portant *sur des circuits fermés* s'expliquent également bien dans l'hypothèse de l'entraînement ou de l'immobilité des lignes de force. Ce fait a été remarqué depuis longtemps; on peut en donner comme raison générale que les forces électromotrices d'induction se calculent à partir de l'expression du travail électromagnétique, lequel ne dépend que de la force magnétique et de l'intensité du courant en chaque point;

2° Edlund, qui est resté un adversaire irréductible de l'hypothèse de l'entraînement des lignes de force par l'aimant, a reproché à cette théorie d'admettre la production d'un courant induit sans dépense de travail. M. Raveau montre, par la lecture de quelques lignes d'un mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique* ([6], XI, 158; 1887) qu'Edlund n'arrive à cette conclusion qu'après avoir considéré comme négligeable le travail nécessaire pour entretenir le mouvement;

3° Si l'on admet que des lignes de force suivent le mouvement d'un aimant quelconque, on ne peut se poser aucune question relativement au cas d'un aimant de révolution, qu'il est impossible de réaliser rigoureusement. Ce qu'on peut se demander, c'est de quelle façon se traduit, indépendamment des courants qui apparaissent dans des circuits conducteurs, le mouvement de rotation. La théorie de Maxwell semble indiquer

que la rotation d'un aimant, même s'il était *rigoureusement* de révolution, serait manifestée par une double perturbation : le champ magnétique ne serait plus exactement le même qu'avant le mouvement, et il se produirait en outre un champ électrostatique.

Radiations diverses des corps radio-actifs; par M. et Mme Curie. — M. Curie donne quelques détails sur la méthode très précise de recherches spectroscopiques, employée par M. Demarçay ; c'est au moyen de cette méthode que ce savant a établi d'une façon certaine l'existence du spectre du radium.

Portés à la température de l'air liquide, les corps radio-actifs continuent à exciter la fluorescence du sulfate d'uranyle et de potassium. Quand on plonge un tube contenant du chlorure de baryum radifère dans de l'air liquide, le sel reste lumineux et, au moment où on le retire, on constate qu'il est plus lumineux qu'à la température ambiante.

Les recherches de M. et Mme Curie ont montré que le rayonnement du radium comprend deux groupes de rayons bien distincts : les rayons déviables par le champ magnétique et les rayons non déviables par le champ magnétique, les premiers étant beaucoup plus pénétrants que les seconds. Les rayons non déviables du radium ne pénètrent pas dans l'air au-delà de 7 centimètres de distance de la source radiante, et cela quelle que soit l'intensité de la source.

Le polonium, préparé par M. et Mme Curie, n'émet que des rayons non déviables très peu pénétrants, qui, dans l'air, ne dépassent pas une distance de 4 centimètres.

Le polonium préparé par M. Giesel émet, au contraire, comme le radium, des rayons déviables et des rayons non déviables.

Les rayons déviables sont hétérogènes; ils deviennent de plus en plus pénétrants en traversant de la matière; un écran interposé sur le trajet de ces rayons produit une absorption d'autant plus forte qu'il est plus éloigné de la source radiante. Cet effet curieux de la distance de l'écran a été observé par M. Becquerel sur les rayons dispersés dans le champ magnétique; le même effet se produit sans champ magnétique.

Les rayons non déviables ont une loi d'absorption toute différente. Ils sont d'autant moins pénétrants qu'ils ont traversé plus de matière. Un écran produit l'absorption la plus forte sur les rayons qui pénètrent le plus loin dans l'air.

Enfin l'absorption exercée par un écran ne varie pas avec sa distance à la source.

M. et Mme Curie ont trouvé que les rayons du radium sont chargés d'électricité négative, comme les rayons cathodiques. L'appareil employé était un disque métallique réuni à l'électromètre au moyen d'une longue tige; disque et tige sont entièrement entourés d'un diélectrique solide, qui est recouvert d'une enveloppe métallique réunie à terre. Les rayons du radium, traversant les enveloppes, sont absorbés par le disque intérieur et le chargent négativement. L'expérience inverse consiste à placer le

radium dans une cavité ménagée dans le disque intérieur, le reste du dispositif n'étant pas modifié. Les rayons du radium sortent de l'appareil en emportant de l'électricité négative, et le radium se charge positivement.

La charge des rayons du radium est très faible. Les rayons qui partent d'une surface de 2,5 centimètres carrés de chlorure de baryum radifère très actif et qui ont traversé une lame d'aluminium très mince et une couche, également très mince, de paraffine ou d'ébonite, transportent une charge de l'ordre de grandeur de 10^{-11} coulombs par seconde. — L'existence de cette charge ne peut être constatée directement dans l'air, parce que celui-ci devient conducteur par l'action des rayons du radium et que l'on ne peut plus réaliser l'isolement des appareils.

SÉANCE DU 16 MARS 1900.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demis.

Le procès-verbal de la séance du 2 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BECKER, préparateur de physique au Collège Rollin.
DUPOUY (Dr Raoul), chargé de cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux.
FERRERA (C.-F.), résident, directeur de l'Observatoire Phu-Lien, au Tonkin.

M. CRÉMIEU, au sujet du procès-verbal de la communication de M. Raveau, fait remarquer que, dans le phénomène de l'induction unipolaire, il y aurait lieu de tenir compte des variations magnétiques résultant de la convection électrique.

Si, en effet, on admet l'existence des courants de convection, il faut aussi admettre que, lorsqu'on donne à un fil, parcouru par un courant, une vitesse parallèle à l'axe de ce fil, cette vitesse vient s'ajouter à celle de la lumière qui anime déjà l'électricité parcourant le fil. L'intensité du courant va donc augmenter (ou diminuer, suivant le sens de la rotation), par suite l'intensité du champ. Quand on fait tourner un solénoïde autour de son axe, on imprime une vitesse complémentaire au courant qui le parcourt. On devra donc observer un phénomène d'induction unipolaire dû aux *variations de vitesse* du solénoïde. Les quantités d'électricité mises en jeu dans ces phénomènes étant assez considérables, il est facile de calculer que, dans des conditions facilement réalisables, on devra observer un effet sensible.

Pour un aimant permanent, la question est plus délicate. On ne peut rien affirmer *a priori* à cause des théories très différentes concernant la constitution des aimants.

M. A. Blondel adresse quelques observations à propos de la communication présentée dans la dernière séance par M. Raveau, au sujet de l'induction unipolaire.

Au point de vue expérimental, il ne semble pas impossible, même avec des circuits fermés, de décider si un aimant tournant autour de son axe de révolution entraîne ou non les lignes de force dans son mouvement. D'ingénieuses, mais trop peu connues, expériences de M. Lecher permettent même, semble-t-il, de trancher la question d'une façon très nette, en faveur de la théorie de Faraday, c'est-à-dire du non-entraînement.

D'ailleurs, au point de vue théorique, rien dans le cas considéré ne semble motiver l'hypothèse de l'entraînement, car la rotation d'un aimant de révolution autour de son axe ne modifie en rien les conditions du champ extérieur, calculé d'après la répartition des masses magnétiques. Au contraire, il est facile de voir que ladite hypothèse conduirait à des conséquences peu vraisemblables. Supposons, par exemple, qu'on prenne deux aimants identiques et de révolution, qu'on les place en prolongement avec leurs pôles contraires en regard et peu éloignés, de façon qu'au repos les lignes de force dans l'entrefer soient à peu près parallèles à l'axe et qu'enfin on fasse tourner ces deux aimants autour de leur axe commun avec des vitesses égales, en sens inverses : s'il y avait entraînement, il faudrait admettre que les lignes de force prennent alors dans l'entrefer des directions variables, *obliques par rapport à l'axe de champ* magnétique apparent.

Pour ces motifs, M. Blondel ne croit pas qu'il y ait lieu de renoncer aux idées de Faraday tant qu'on n'aura pas apporté pour les combattre des arguments ou des faits positifs.

M. le Secrétaire général, qui a lu cette lettre, ajoute que M. Raveau et M. Blondel sont actuellement en correspondance et désirent, l'un et l'autre, réserver leur opinion jusqu'à ce que M. Raveau ait développé ses idées dans une publication plus étendue.

Rôle des discontinuités dans les phénomènes de propagation. — M. Vieille s'est proposé de soumettre à des vérifications expérimentales les conséquences de la théorie générale de la propagation des ondes planes données par Riemann et Hugoniot.

Cette théorie prévoit la déformation progressive des ondes au cours de leur propagation et la naissance sur le front de l'onde de discontinuités qui se propagent avec des vitesses pouvant croître au-delà de toute limite. — Les explosifs permettent d'exciter des ondes brusques et fortement condensées, sous lesquelles on peut suivre à courte distance la déformation et les grandes vitesses prévues par la théorie. Ces ondes brusques peuvent être obtenues également par des moyens purement mécaniques, tels que la rupture de diaphragmes, et donnent lieu, dans ces cas, à des vérifications de même ordre. Les discontinuités ainsi produites

s'amortissent avec une extrême rapidité. Il existe pourtant des phénomènes qui comportent des discontinuités entretenues par voie mécanique ou chimique. Tels sont le mouvement des projectiles dans l'air et la propagation de l'onde explosive dans les mélanges tonnants.

Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone. — M. P. Villard montre que les gaz de la flamme et l'air qui environne celle-ci dans un rayon de 2 ou 3 décimètres sont des égaliseurs de potentiel, quand la flamme se produit dans un champ électrique, *et seulement dans ce cas*, contrairement à l'opinion généralement admise. Dans un champ, une flamme se comporte comme si elle émettait des radiations comparables aux rayons X; mais ces pseudo-radiations ne franchissent une toile métallique limitant le champ que si, derrière celle-ci, existe un champ de même sens que le premier. On retrouve ainsi les résultats récemment publiés par M. Sagnac à propos des rayons X, et on peut dire que, dans ces conditions, une flamme se comporte comme un faisceau de rayons X, mais elle n'en émet pas.

Si le champ est nul, les gaz de la flamme sont inactifs : dirigés sur un électroscope placé dans une cage de Faraday faite d'une toile métallique très serrée, ils ne produisent aucune décharge.

Les corps incandescents, le phosphore, donnent lieu aux mêmes effets que les flammes.

Dans le vide, et moyennant quelques précautions, les phénomènes se simplifient : un corps incandescent ne se décharge, et ne décharge les conducteurs à distance, que s'il est cathode. On peut alors caractériser l'existence de rayons cathodiques en étudiant l'influence d'un champ électrique ou magnétique, et constater, par la méthode de M. J. Perrin, le transport de charges négatives. Des rayons correspondant à une chute de 10 volts ont pu être observés ainsi. On sait d'ailleurs qu'une cathode incandescente n'oppose qu'une résistance minime au passage du courant dans le vide (Hittorf).

Le phénomène connu sous le nom d'effet Edison s'explique de la même manière.

Si on admet que les flammes, les corps incandescents, et le phosphore, placés dans un champ, émettent des rayons cathodiques, on explique sans difficultés les faits qui précèdent, et aussi l'activité particulière des étincelles électriques (rayons de décharge de M. E. Wiedemann).

La décharge par la lumière ultra-violette, et peut-être la pulvérisation des corps par cette lumière, s'interprètent de même. Les corps les plus sensibles sont précisément ceux qui, employés comme cathode dans un tube de Crookes, donnent lieu à la plus faible résistance au passage de l'électricité. Le transport de charges a pu être également constaté dans ce cas au moyen du cylindre de Faraday.

La formation de l'ozone par l'action des étincelles ou des effluves de l'arc électrique, des flammes, des corps incandescents, et du phosphore sur l'air ou l'oxygène apparaît alors comme une conséquence immédiate

de l'émission cathodique. Les expériences de M. Lenard établissent en effet que les rayons cathodiques ozonisent l'air qu'ils traversent.

L'auteur rappelle, en terminant, que l'émission de rayons cathodiques s'accompagne toujours d'une élévation de température de la région cathodique radiante, élévation pouvant aller à l'incandescence. Ce phénomène de l'incandescence a lieu non seulement dans le vide de Crookes, mais à des pressions beaucoup plus élevées et aussi à la pression ordinaire. Il est naturel d'admettre qu'il est toujours dû à la même cause, c'est-à-dire à la formation de rayons cathodiques, ce qui vient à l'appui de l'hypothèse précédente. Les expériences de M. Tesla sur les lampes à incandescence doivent être rapportées à la même cause, conformément, d'ailleurs, aux idées de cet auteur.

SÉANCE DU 6 AVRIL 1900.

PRÉSIDENCE DE MM. CORNU ET H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demi.

Le procès-verbal de la séance du 16 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BOUCHARD, membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de médecine.
MICHAUT (Victor), Préparateur de physiologie à la Faculté des Sciences de Dijon.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL lit une lettre de M. le *général Sebert*, annonçant qu'un Congrès de Bibliographie se tiendra à Paris, du 16 au 18 août 1900. Ce Congrès s'occupera principalement de la question des Répertoires bibliographiques ; il y sera notamment traité avec détails de l'œuvre coopérative entreprise par l'Institut international de Bibliographie.

M. DE HEEN adresse une lettre au sujet de la communication de M. Villard sur la décharge des corps électrisés ; il rappelle que, dans une note publiée récemment dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, il a émis l'opinion que tous les foyers d'ébranlement de l'éther émettent des rayons cathodiques ou des rayons X.

M. CORNU, Président, prononce l'allocution suivante, à l'occasion de la mort de M. *Joseph Bertrand :*

« MES CHERS COLLÈGUES,

« J'ai le pénible devoir de vous annoncer la mort de l'un de nos plus illustres Membres honoraires, M. Joseph Bertrand, de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Professeur de

Physique mathématique au Collège de France, Professeur honoraire d'analyse à l'Ecole polytechnique.

La Société française de Physique perd en Joseph Bertrand l'un de ses patrons les plus dévoués : assidu aux séances du Conseil, il prenait un vif intérêt aux progrès de notre Société, et ses avis, toujours conformes aux traditions scientifiques de nos grands Corps savants, étaient d'un grand poids dans nos délibérations.

Doué des dispositions les plus précoces pour les sciences mathématiques, il subit avec succès, dès l'âge de onze ans, les examens d'entrée de l'Ecole polytechnique et entra réellement à cette Ecole, le premier de sa promotion, à dix-sept ans. Sorti dans le Corps des Mines, il se livra exclusivement à ses goûts pour la science et bientôt à l'enseignement. Successivement professeur au lycée Saint-Louis, au lycée Napoléon, examinateur d'entrée, professeur à l'Ecole polytechnique, et pendant quelques années Maître de conférences à l'Ecole normale supérieure, il fut partout un Maître incomparable. Ses travaux d'analyse lui ouvrirent les portes de l'Académie des Sciences, dès 1856.

Bien qu'avant tout géomètre, J. Bertrand avait une prédilection marquée pour la physique mathématique : il était resté le fidèle disciple des grands géomètres physiciens du commencement du siècle, Laplace, Biot, Ampère, Poisson, Duhamel ; il aimait, dans ses cours du Collège de France, à répandre leurs méthodes, empreintes d'une rigueur qu'on semble un peu dédaigner aujourd'hui : il cherchait à y accommoder les vues nouvelles, en mêlant aux travaux de ses premiers maîtres les considérations empruntées aux hypothèses modernes, sans parvenir toujours à accorder la logique de son esprit avec les conceptions parfois aventureuses, qui tendent, présentement, à envahir certaines régions de la Physique.

La substance de son enseignement au Collège de France se trouve dans trois beaux ouvrages, aujourd'hui aux mains de tous les Physiciens.

Les *Leçons sur le calcul des Probabilités*, sur la *Thermodynamique* et sur l'*Électricité* sont pleines d'aperçus ingénieux, de critiques très fines, mais témoignent d'un attachement particulier aux anciens points de vue dont l'Ecole moderne cherche, au contraire, à se dégager de plus en plus.

Grâce à ses éminentes qualités, Joseph Bertrand a exercé sur les générations qui ont suivi son enseignement une influence salutaire : elles ont appris de lui la simplicité des méthodes, la rigueur et l'élégance des démonstrations et cette critique judicieuse et pénétrante qui est un des traits essentiels de son caractère.

A ses funérailles, qui ont eu lieu aujourd'hui, nous avons entendu les voix les plus autorisées rappeler avec émotion, les aspects si divers et si séduisants de cette merveilleuse nature.

La Société française de Physique se joint à ce concert d'éloges et de regrets en lui apportant, à son tour, l'hommage de sa respectueuse admiration.

M. A. Cornu. — *Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat.* — Dans ses recherches, déjà anciennes, sur le balancement des raies du spectre solaire, M. Cornu a découvert par expérience et observé plusieurs fois un résultat, au premier abord assez surprenant. Il projetait sur un spectroscope avec un objectif convenable l'image solaire réfléchie par le miroir d'un héliostat. La condition nécessaire pour l'observation nette du balancement des raies est que l'équateur solaire soit sensiblement perpendiculaire à la pente du spectroscope. Or, si l'héliostat laisse bien fixe l'*axe* du faisceau lumineux, l'image du soleil, par contre, tourne sur elle-même autour de cet axe. On serait tenté de croire que ce mouvement de rotation doit se faire uniformément, à raison d'un tour par vingt-quatre heures et que, par conséquent, l'image du soleil ne doit prendre la position favorable que de douze en douze heures. Mais il n'en est rien! M. Cornu a pu, parfois, à cinq ou six heures d'intervalle, constater que le phénomène du balancement des raies devenait visible et que, par conséquent, l'équateur était revenu se mettre en bonne place dans l'image du soleil.

M. Cornu a eu quelque peine à résoudre le problème que lui posait cette observation. Pendant de longs mois, il a vainement tenté d'obtenir des formules simples pour représenter ces mouvements, jusqu'au jour où il a eu l'idée de faire intervenir dans la question la *position de l'image du pôle par rapport à celle du soleil.* Dès lors la mise en équation du problème est devenue aisée, et des résultats d'une grande simplicité se sont présentés.

Sidérostat. — Cet appareil est construit de manière à diriger le faisceau réfléchi vers l'horizon sud. Avec cet appareil, *l'image du pôle décrit autour du centre du champ un ordre ayant pour rayon la distance polaire de l'astre visé.*

Si l'on désigne cette distance polaire par δ, et par ρ la distance polaire du point de l'horizon vers lequel on dirige le faisceau réfléchi, en prenant pour unité de temps le jour sidéral, la rotation Y du champ est donnée par:

$$\operatorname{tang} \frac{1}{2} Y = \frac{\cos \frac{1}{2} (\rho + \delta)}{\cos \frac{1}{2} (\rho - \delta)} . \operatorname{tang} 2\pi t.$$

On voit alors que *la rotation du champ a même période que le mouvement diurne; elle se fait toujours dans le même sens; mais elle n'est pas uniforme.*

Le *sens* du mouvement apparent du champ de vision du sidérostat dépend du signe de la fraction qui figure dans $\operatorname{tang} \frac{1}{2} Y$: c'est celui du mouvement des aiguilles d'une montre, *si la distance polaire de l'astre visé est moindre que le supplément de la distance polaire de la direction réfléchie.*

Dans le cas remarquable où ces deux dernières quantités sont égales

le champ de vision reste rigoureusement immobile. Ce cas n'est, d'ailleurs, autre que celui où le sidérostat a, à la fois, son axe de rotation et son miroir parallèles à l'axe du monde; mais c'est alors le *cœlostat* de M. Lippmann, qui, comme on sait, donne une image du ciel absolument fixe.

Héliostat. — Pour l'*héliostat*, qui renvoie vers le nord des rayons réfléchis, une partie de ces résultats subsistent. L'image du pôle tourne encore autour de l'axe du faisceau; mais le champ de vision *tourne avec une vitesse angulaire toujours plus grande que celle du mouvement diurne.* C'est là un inconvénient qui fait préférer le sidérostat pour l'astronomie de précision. Mais cette rapidité de rotation est, au contraire, avantageuse dans certains cas, et, en particulier, quand on applique l'héliostat aux expériences de spectroscopie, qui ont été le point de départ du présent travail.

Ce qui précède suffit à montrer que, même dans les particularités des instruments qui, au premier abord, paraissent des imperfections fâcheuses, on trouve des ressources utilisables pour d'autres genres d'expériences. L'étude approfondie des appareils dans leurs propriétés géométriques apporte, le plus souvent, quelque particularité susceptible de rendre des services inattendus.

M. Deslandres rappelle que la question développée par M. Cornu a été déjà traitée par les astronomes. Car la grande longueur des lunettes et l'importance des appareils adjoints conduisent au dispositif du sidérostat et de l'héliostat adopté pour la grande lunette de l'Exposition. Mais, avec ce dispositif, le champ de vision subit une rotation de vitesse variable, qui est une gêne sérieuse, surtout lorsque l'observation est photographique. M. Deslandres a signalé déjà cet inconvénient, l'année dernière, à la Société, lorsque la description de la grande lunette de 60 mètres lui a été exposée par MM. Carvallo et Gautier. Même cette remarque faite par lui a provoqué de nouvelles recherches du constructeur, qui a réalisé un appareil entraînant la plaque photographique avec une vitesse de rotation aisément et rapidement variable. L'inconvénient est ainsi fortement diminué.

M. Deslandres a signalé aussi cette propriété du sidérostat dans une note parue, en 1894, dans le *Bulletin astronomique* (numéro de février).

Dans la pratique, la rotation variable du champ de vision s'observe et se mesure immédiatement avec le cercle de position des oculaires astronomiques, en arrêtant le miroir et en notant la direction de l'étoile, qui décrit dans le champ l'image d'une parallèle céleste.

D'autre part, la théorie de cette rotation a été donnée, en 1883, par Tholon (*Comptes Rendus de l'Académie*, p. 1200). La note, très courte, donne une formule de la rotation applicable à tous les cas. Avec le sidérostat orienté dans le méridien, la formule réduit à :

$$\operatorname{tang} Y = \frac{\sin H\,(\cos L - \cos\delta)}{\cos H\,(1 - \cos\delta\cos L) + \sin\delta\sin L},$$

les notations étant les mêmes que celles de M. Cornu, dans son mémoire sur la question. Cette formule n'est pas calculable par logarithmes, comme celle de M. Cornu et est assurément moins élégante; mais elle montre à première vue toutes les particularités de la rotation.

M. Cornu adresse la lettre suivante en réponse aux observations de M. Deslandres :

« Je désire répondre quelques mots aux remarques que M. Deslandres a ajoutées à ma communication, remarques qui me paraissent plutôt égarer qu'éclaircir la question.

« J'ai réduit à une extrême simplicité la solution d'un problème posé depuis plus d'un siècle, à savoir la loi de rotation du champ de vision de l'héliostat et, par suite, du sidérostat. J'arrive, en effet, pour l'expression de cette loi, dans le cas le plus général à la formule [1] :

$$\operatorname{tang}\frac{1}{2}\,Y = \frac{\cos\frac{1}{2}(\rho+\delta)}{\cos\frac{1}{2}(\rho-\delta)}\operatorname{tang}\frac{1}{2}(AH-\omega).$$

« M. Deslandres, si sévère naguère pour l'inconvénient de cette rotation lorsque M. Gautier a présenté à la Société son beau sidérostat, aurait dû, ce me semble, se réjouir de voir que ma formule avait permis à l'éminent artiste du Bureau des longitudes de corriger, par un mécanisme très simple, l'inconvénient précité. Au lieu de se réjouir du résultat, M. Deslandres laisse percer un peu de mauvaise humeur, en déclarant que ma solution, bien que plus élégante, n'est pas nouvelle, et qu'elle est renfermée dans la formule obtenue par Thollon en 1883 ; il aurait pu ajouter, comme autrefois Poinsot, que la difficulté était de l'en faire sortir.

« On se rendra compte de cette difficulté en comparant avec la mienne l'expression de la loi de rotation donnée par Thollon, non pas dans le cas particulier que M. Deslandres a choisi, mais dans le cas général et que voici :

$$\operatorname{tang} Y = \frac{\sin h\,(\cos\lambda - \cos\alpha\sin\lambda) + \cos h\sin\alpha\sin\delta\sin\lambda + \sin\alpha\cos\delta\cos\lambda}{\cos h\,(\cos\alpha - \sin\delta\cos\lambda) + \sin h\sin\alpha\sin\lambda + \cos\delta\sin\lambda}.$$

« Le progrès accompli est si évident que la comparaison à laquelle M. Deslandres me contraint est presque désobligeante pour la mémoire de ce modeste et habile physicien qu'était Thollon.

« Je laisse donc à mes collègues le soin d'apprécier dans quelle mesure le reproche adressé à mon travail fait honneur au jugement, comme à la bienveillance de M. Deslandres. »

Lumière polarisée émise par un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique. — M. Dongier décrit les particularités qu'il a observées

---

[1] Le mémoire paru dans le *Bulletin astronomique*, numéro de février 1900, sera publié prochainement dans le *Journal de Physique*.

avec la lumière émise par un tube de Geissler à hydrogène, soumis à l'action d'un champ magnétique normal à son axe. L'œil, placé derrière un diaphragme, regarde le tube à la fois à travers un verre rouge, un polariscope de Savart et une lentille convergente; il voit le champ de la lentille uniformément éclairé, si le diaphragme se trouve dans le plan conjugué du tube par rapport à la lentille; de plus, le diaphragme arrête les rayons lumineux autres que ceux provenant de la région du tube dont l'image couvre son ouverture; la portion utilisable du tube peut être ainsi réduite à volonté. Entre le polariscope et la lentille, une lame de verre verticale (parallèle à l'axe du tube), qui peut être inclinée plus ou moins par rapport au faisceau lumineux, couvre la moitié du champ de la lentille; cette lame est destinée à renseigner sur la nature de la polarisation de la lumière qui émerge du tube; elle permet aussi d'orienter convenablement le polariscope, afin que la frange centrale en lumière blanche occupe sensiblement le milieu du champ d'observation.

Dans la direction normale aux lignes de force, la lumière est partiellement polarisée, lorsque le filet lumineux (produit par un seul sens dans la décharge) est rejeté par le champ magnétique vers le côté du tube capillaire qui est opposé à celui où se trouve l'observateur; les vibrations de Fresnel, parallèles à l'axe du tube, sont alors prépondérantes; les franges de Savart, qui sont ainsi particulièrement nettes, disparaissent tout à fait lorsqu'on change le sens du courant dans l'électro-aimant.

Lorsqu'on observe dans la direction axiale de l'électro-aimant, les franges de Savart apparaissent, quel que soit le sens du courant dans l'électro-aimant et les vibrations de Fresnel, normales à l'axe du tube, sont prépondérantes dans les deux cas.

M. Dongier ayant reçu communication, par l'intermédiaire de M. Cornu, de la note présentée par MM. Egoroff et Georgiewsky à la séance du 2 avril de l'Académie des Sciences, en expose le contenu qui reproduit les particularités signalées plus haut. MM. Egoroff et Georgiewsky ayant obtenu ces apparences en déplaçant des flammes effilées dans des tubes de grands diamètres, pensent que l'influence du champ magnétique est secondaire et n'a pour effet, en faisant varier la position du filet lumineux dans le tube, que de changer les conditions de réflexion et de réfraction. M. Dongier pense que cette influence de la réflexion et de la réfraction ne peut être admise que si les tubes de Geissler se comportent de la même façon, quel que soit le gaz contenu, pourvu qu'ils aient les mêmes dimensions, la même forme et soient formés avec le même verre. Or l'hydrogène et l'azote, placés dans les mêmes conditions, manifestent des différences considérables; il en est de même de l'hélium qui donne de belles franges et de l'orgon pour lequel elles sont presque inappréciables.

M. Cotton propose l'explication suivante : comme dans le cas de la flamme du sodium, le filet lumineux d'hydrogène serait entouré d'une gaine absorbante à laquelle ce physicien a déjà attribué l'apparition des franges observées par MM. Egoroff et Georgiewsky. Si le filet lèche la

paroi située du côté de l'observateur, cette gaine n'existe plus, et le renversement spontané de la raie C n'a pas lieu; il n'y a pas de franges. Si le filet est situé du côté opposé, la gaine absorbante continue à exister; comme dans le cas de la flamme du sodium, on aperçoit des franges. Cette explication serait complète, si les apparences décrites disparaissaient dans un champ magnétique uniforme.

M. Dongier projette devant la Société un phénomène de moiré produit par la superposition de deux réseaux au 1/8 de millimètre fabriqués par M. Gautier. Le phénomène présente toutes les apparences des franges d'interférences en lumière monochromatique.

Loupe binoculaire stéréoscopique. — M. Ch.-Ed. Guillaume présente, de la part de M. E. Berger, une loupe binoculaire stéréoscopique d'une construction nouvelle, destinée soit à des recherches scientifiques, soit à des travaux pratiques industriels.

La supériorité de la vision binoculaire sur la vision monoculaire, même indépendamment de la vision du relief, a conduit à la construction d'instruments utilisant simultanément les deux yeux. Le double microscope de Chérubin (1678) ou la loupe de Chevalier-Brücke sont des types d'instruments à axes convergents. D'autres utilisent des prismes interposés entre l'oculaire et l'objectif pour ramener les images dans l'axe des yeux. Brücke et Liebreich ont déjà tenté, en 1861, de construire une loupe dans laquelle l'action prismatique de la lentille était utilisée; mais le résultat n'était pas parfaitement satisfaisant.

M. Berger incline les verres de manière à les écarter de l'œil du côté temporal, et obtient ainsi un effet prismatique considérable, assurant une très faible convergence des axes des yeux et une perte aussi petite que possible de lumière par réflexion. Cette disposition donne, il est vrai, un peu d'astigmatisme; mais ce défaut est de sens inverse de l'astigmatisme le plus fréquent. S'il est encore prépondérant, on peut le diminuer en inclinant l'instrument d'avant en arrière.

Les images rétiniennes sont très différentes et donnent un effet de relief, comme les jumelles stéréoscopiques à objectifs très écartés. Avec un peu d'exercice, on arrive à voir distinctement le relief d'une impression, la superposition des traits dans le tirage en plusieurs couleurs, etc. Cette loupe est très avantageuse pour l'examen d'un objet confus, tel qu'un textile, dans lequel on distingue immédiatement les positions des fils en profondeur.

Les loupes sont montées soit comme les lunettes ordinaires, soit sur un double cône que l'on tient à la main.

SÉANCE ANNUELLE

RÉUNIONS DES VENDREDI 20 ET SAMEDI 21 AVRIL 1900

(*En raison de l'Exposition Universelle, le Conseil a décidé de supprimer, pour cette fois seulement, l'Exposition proprement dite et de la remplacer par des Séances consacrées à des expériences et à des communications.*)

EXPÉRIENCES.

MM. BECQUEREL..... Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs.

BERGER..... Loupe binoculaire stéréoscopique.

DONGIER..... Lumière polarisée émise par un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique.

GUILLAUME..... Dilatomètre; Appareil de démonstration pour les phénomènes de résonance (construits par MM. *Radiguet* et *Massiot*).

RIBAN..... Gazomètre à pressions constantes et variables à volonté.

ROTHÉ ..... Étude de l'interrupteur Wehnelt. Existence de plusieurs régimes.

TEISSERENC DE BORT.. Cerfs-volants et ballons-sondes pour l'étude de l'atmosphère dans la verticale.

VILLARD..... Décharge des corps électrisés et formation de l'ozone.

COMMUNICATIONS.

Vendredi 20 avril, à 3 heures de l'après-midi.

1° M. MARAGE.. Sur la formation de la parole. Analyse et synthèse.

2° M. GUTTON... Sur la propagation des ondes électromagnétiques.

Vendredi soir, à 8 heures et demie.

1° M. COTTON .. Sur un appareil pour la mesure des champs magnétiques. Applications.

2° M. LANGEVIN. Sur l'ionisation des gaz.

3° Expériences de M. et Mme CURIE, sur les corps radio-actifs.

Samedi 21 avril, à 3 heures de l'après-midi.

1° M. Maurain. Sur un appareil gazométrique à volume constant de M. Job.

2° M. Mathias. Sur le rapport de la chaleur de vaporisation interne à la différence des deux sortes de densités.

3° M. Mathias. Sur un lieu géométrique considéré par M. Amagat.

4° M. Moulin.. Vérification de deux formules donnant les volumes de vapeur saturée et les tensions maxima en fonction de la température.

RÉUNIONS DES 20 ET 21 AVRIL 1900.

COMMUNICATIONS.

Analyse et synthèse des voyelles. — M. Marage a refait avec la méthode graphique les expériences qu'il avait entreprises sur les voyelles en se servant de la photographie des flammes manométriques. Il a pu ainsi non seulement constater l'exactitude des premiers résultats qu'il avait obtenus; mais encore cela lui a permis d'expliquer les divergences qui existaient entre les expérimentateurs.

La méthode des flammes de Kœnig a l'avantage d'être excessivement sensible, très maniable et très exacte; mais elle ne permet pas de pousser aussi loin l'étude des voyelles que la méthode graphique qui, cependant, est moins sensible.

Les tracés qu'il a obtenus par une méthode quelconque lui ont indiqué ceci simplement :

A est formé d'un groupe de trois vibrations;

É, O, d'un groupe de deux;

I, OU, de vibrations équidistantes; la somme des vibrations représente la vocable, c'est-à-dire la note du résonateur buccal; le nombre de groupements représente la note fondamentale sur laquelle la voyelle est émise.

D'après ces résultats, M. Marage a fait la synthèse des voyelles, en remplaçant les résonateurs par des moulages de la cavité buccale, prononçant la voyelle; et le larynx, par une sirène de M. Pellat modifiée de la façon suivante :

Le plateau fixe est percé d'une seule fente triangulaire représentant l'espace glottique; le plateau mobile est percé de fentes égales entre elles et dirigées suivant les rayons; ce plateau est renfermé dans une petite caisse cylindrique de hauteur négligeable, et l'air s'échappe par un tube perpendiculaire placé au-dessus de la fente fixe.

Pour reproduire A, il suffit d'avoir trois fentes ouvertes, séparées par une fente fermée, de manière à obtenir un groupement de trois vibrations; le nombre total de vibrations représente la vocable, le nombre de groupe de trois représente la note fondamentale; le tracé de ces voyelles synthétiques l'indique très nettement; si l'on place au-dessus du tube un des moulages en plâtre correspondant à A, la voyelle est beaucoup plus parfaite; mais il faut que la note de ce résonateur soit à l'unisson avec la vocable, c'est-à-dire avec la somme des vibrations du larynx; s'il n'en est pas ainsi, la voyelle est encore perçue, mais elle est modifiée ainsi que son tracé.

Pour obtenir É et O, il faut que les fentes du plateau mobile soient réunie, par groupes de deux séparés par une fente bouchée; pour passer de É à O, on doit modifier la fente fixe; cette fente est très large pour O et très étroite pour .

Pour obtenir I et OU, il faut que toutes les fentes soient ouvertes sans intervalle; mais, pour passer d'une voyelle à l'autre, il faut faire varier le diamètre des fentes, qui sont larges pour OU, étroites pour I.

On peut donc donner la définition suivante :

Les voyelles sont dues à une vibration aéro-laryngienne intermittente renforcée par la cavité buccale et produisant OU, O, A, É, I, lorsque celle-ci se met à l'unisson de la somme des vibrations; transformée par la cavité buccale et donnant naissance aux autres voyelles, lorsque cet unisson n'existe pas; le nombre des intermittences donne la note fondamentale.

Si la cavité buccale fonctionne seule, on a la voyelle chuchotée ;

Si le larynx fonctionne seul, on a la voyelle chantée;

Si les deux fonctionnent en même temps, on a la voyelle parlée.

Sur la propagation des ondes électromagnétiques; par M. C. Gutton. — Les ondes électromagnétiques se propagent avec la même vitesse dans l'air et le long des fils tendus dans l'air; ce fait résulte des expériences célèbres de MM. Sarasin et de la Rive. M. Gutton a cherché si cette égalité se retrouve lorsque les ondes se propagent, non plus dans l'air, mais dans un milieu diélectrique dont la constante est différente de l'unité. Un oscillateur envoie deux systèmes d'ondes : l'un se propage constamment le long de fils de cuivre; l'autre traverse l'espace compris entre deux miroirs paraboliques; ces deux systèmes d'ondes arrivent à un même cohéreur et interfèrent. Ces interférences permettent de régler les longueurs parcourues par les ondes de façon qu'elles arrivent au même instant au cohéreur. Si maintenant on intercale entre les deux miroirs un bloc de bitume de 1 mètre de long, tandis que l'on fait traverser la même longueur de bitume aux fils qui transmettent l'autre système d'onde, les deux ondes arrivent encore en même temps au cohéreur. *Les ondes se propagent* donc *dans le bitume avec la même vitesse, qu'elles soient ou non guidées par des fils.*

L'appareil permet de chercher le retard éprouvé par l'un des systèmes d'ondes, quand il traverse seul une longueur connue de bitume. De ce retard on déduit, comme on le fait en optique, l'indice de réfraction

L'égalité des vitesses a également été vérifiée lorsque les ondes se propagent dans la glace.

L'indice de réfraction trouvée pour la glace est 1,76; la longueur des ondes étant de 14 centimètres. M. Blondlot, pour des ondes beaucoup plus longues, a trouvé 1,41. Pour trouver la cause de cet écart, M. Gutton a mesuré l'indice de la glace pour différentes longueurs d'ondes.

La longueur d'ondes, variant de 14 centimètres à 2088 centimètres, l'indice de la glace a varié de 1,76 à 1,50.

La glace présente donc *pour les radiations électromagnétiques une dispersion normale* analogue à celle que M. Drude a découverte dans divers liquides organiques. Le caractère normal de cette dispersion est sans doute lié à la grande transparence de la glace pour les radiations électromagnétiques.

Appareil gazométrique de M. Job, présenté par M. Maurain. — Cet appareil est destiné à mesurer à volume constant tout dégagement ou toute absorption de gaz, qui peuvent être provoqués par le contact d'un liquide avec un autre corps, solide, liquide ou gazeux. — Il est construit par M. Chabaud. C'est un récipient clos muni d'un manomètre. Par un artifice particulier, on peut, dans l'atmosphère même de ce récipient, démasquer et faire couler le liquide sans changer la masse gazeuse contenue dans l'appareil. — Applications : analyse volumétrique très rapide de tous les corps capables de produire des dégagements gazeux par réaction chimique (acides, carbonates, carbures, etc.). — Etude des équilibres entre une phase liquide quelconque et une phase gazeuse quelconque, à des températures variées.

Sur le rapport de la chaleur de vaporisation interne à la différence des densités. — M. Mathias rappelle dans quelles conditions M. Gerrit Bakker donna, le premier, des vérifications de la constance de ce rapport et comment, grâce à la forme de l'énergie potentielle isotherme des liquides cela apparut être une vérification des vues de M. Van der Waals.

Loin de la température critique, le rapport $\frac{\rho}{d-d'} = a$ est une fonction nettement décroissante de la température; à quelque distance de la température critique, ce rapport semble constant, ainsi que cela a été vérifié par l'auteur sur l'acide sulfureux. M. Mathias s'est préoccupé d'étudier sa variation au voisinage immédiat de la température critique. Le calcul de ce rapport fait sur les données de l'acide carbonique fournies par M. Amagat a donné des nombres à peu près rigoureusement constants entre 0° et + 15°, tandis qu'entre + 15° et 31°,35 ils décroissaient très rapidement, la valeur étant inférieure d'environ 20 0/0 à la valeur constante observée entre 0° et 15°; le décroissement rapide au voisinage du point critique explique *a posteriori* la valeur très basse trouvée pour l'acide sulfureux à 2°,4 de cette température, ce qui avait d'abord paru inexplicable. Le calcul des expériences de M. S. Young sur l'hexane normal montre également pour $\frac{\rho}{d-d'}$ une allure toujours décroissante, mais ne présentant pas, comme

pour l'acide carbonique et l'acide sulfureux, un point d'inflexion à tangente horizontale. Les lois des états correspondants ne paraissent donc pas applicables à la fonction de la température représentée par $\frac{\rho}{d - d'} = a$.

Sur un lieu géométrique considéré par M. Amagat. — M. Mathias considère dans le plan des pv la courbe de saturation de l'acide carbonique et le diamètre conjugué des cordes horizontales, qui n'est autre que le lieu des points tels que le *titre* de la vapeur est constant et égal à 0,5; ce lieu rencontre la courbe de saturation au point critique suivant un angle fini. Si l'on considère, avec M. Amagat, les lieux des points tels qu'il y ait un rapport constant entre le volume du liquide et le volume de la vapeur, le poids total étant 1 gramme, les courbes ont, au point critique, leurs tangentes horizontales, *sauf* pour le lieu des points tels que le volume du liquide soit égal à celui de la vapeur, qui rencontre la courbe de saturation sous un angle fini.

Ce résultat a été trouvé par M. Amagat, d'après lequel ce lieu serait « rigoureusement une ligne droite presque perpendiculaire à l'axe des abscisses »; ce résultat, s'il était exact, aurait pour conséquence de fournir l'expression théorique de p, en fonction de la température par l'observation de $\frac{d + d'}{2}$ entre l'équation du diamètre rectiligne (dans le plan des p, t) et le lieu précédent dont l'ordonnée est p, et l'abscisse

$$v = \frac{2uu'}{u + u'} = \frac{2}{d + d'}.$$

Si l'on forme le $\frac{dp}{dv}$, on trouve, en s'aidant de la loi du diamètre rectiligne, une fonction de la température qui, pour le point critique, se réduit à :

$$-\frac{\Delta^2}{\alpha}\left(\frac{dp}{dt}\right)_c,$$

Δ étant la densité critique, et α le coefficient angulaire du diamètre rectiligne. Or ce coefficient angulaire limite est précisément celui du diamètre conjugué des cordes horizontales au point critique; les deux lieux coupant la courbe de saturation sous un angle fini sont donc tangentes au point critique.

La considération du $\frac{d^2p}{dv^2}$ montre qu'il n'y a pas de point d'inflexion; en outre, pour des valeurs infiniment faibles de la pression, le lieu considéré par M. Amagat a une tangente horizontale correspondant à un volume qui est les 2/3 du volume critique; ce lieu est donc géométriquement curviligne, mais il reste toujours fort peu distant de la tangente au point critique, ce qui explique le résultat trouvé graphiquement par M. Amagat.

Application des ondes électriques à quelques problèmes de télégraphie; par M. A. Turpain. — En laissant de côté les propriétés des *champs interférents* qui peuvent être appliqués à la solution du problème de la multicommunication télégraphique considérée dans toute sa généralité, M. Turpain s'est appliqué à résoudre, au moyen des oscillations électriques les problèmes de la transmission duplex et de la transmission diplex, et celui de la télégraphie et téléphonie simultanées.

Transmission duplex. — Il s'agit d'assurer les communications télégraphiques entre deux postes A et B, simultanément de A vers B et de B vers A. — On assure la transmission de A vers B en propageant sur la ligne les oscillations fournies en A par un excitateur. Ces oscillations excitent en B un résonateur à coupure dans la coupure duquel sont intercalés une pile locale et le récepteur télégraphique utilisé. Ce récepteur peut être quelconque; il suffit que le dispositif qui, en A, assure la propagation des ondes sur la ligne, soit invariablement lié au manipulateur de l'appareil récepteur choisi. — La transmission de B vers A est assurée au moyen d'un courant ordinaire emprunté à une pile disposée en B. — On utilise donc concurremment la propagation d'ondes électriques et celle de courants électriques constants. — Il est bon de protéger l'électro-aimant du récepteur placé en A contre les ondes électriques qui se propagent d'une spire à l'autre à travers le diélectrique qui isole le fil et l'endommage. A cet effet, on enferme la bobine dans une boîte métallique en relation avec le fil conducteur de l'électro-aimant.

Ce dispositif de transmission duplex présente, sur ceux ordinairement employés en télégraphie par courants continus l'avantage de permettre l'utilisation d'appareils différents pour la transmission de A vers B et pour celle de B vers A. Il dispose de la réalisation souvent coûteuse des lignes dites factices. Enfin il permet de disposer les appareils actionnés par les ondes en A et B, alors que ceux utilisant les courants constants sont disposés en deux stations C, D intermédiaires entre A et B. Une même ligne permet ainsi l'échange de télégrammes entre deux postes extrêmes et simultanément l'échange de télégrammes entre deux postes intermédiaires.

Transmission diplex. — Il s'agit d'assurer l'envoi simultané de deux télégrammes de A vers B. — Il suffit de répéter les dispositions précédentes en plaçant les deux manipulateurs, dont l'un propage des ondes et l'autre des courants continus, à la même station A, alors que les deux dispositifs récepteurs sont placés en B.

Téléphonies et télégraphies simultanées. — La télégraphie est assurée entre les deux stations A, B, par l'emploi d'ondes électriques reçues par un résonateur à coupure et entretenant un appareil télégraphique quelconque.

Les appareils télégraphiques sont protégés contre l'influence des ondes

par une enceinte métallique, qu'on réalise facilement en tapissant de feuilles d'étain la cabine téléphonique qui contient ces appareils. — Le fil de ligne arrive à la cabine qu'il traverse pour se relier aux appareils téléphoniques. Un second fil issu de l'enceinte est relié aux appareils télégraphiques.

Pour empêcher toute influence des ondes électriques sur le téléphone et le rendre apte à être utilisé sans qu'il fatigue l'oreille, il faut éviter que le fil de ligne traverse l'enceinte en étant en contact direct avec elle. Ce fil traverse une ampoule à air raréfié, qui contient un anneau métallique dont le plan est perpendiculaire à la direction du fil et qui entoure ce fil sans le toucher. Cet anneau communique avec l'enceinte. — Les ondes propagées par le fil de ligne sont arrêtées par l'enceinte qu'elles atteignent à la faveur du gaz raréfié contenu dans l'ampoule. — Les courants téléphoniques, au contraire, traversent l'ampoule sans être arrêtés.

Ce dispositif, comme celui de la transmission duplex, offre sur ceux ordinairement employés l'avantage de permettre la télégraphie entre deux stations extrêmes A et B, et simultanément la téléphonie entre deux stations intermédiaires C et D.

Vérifications de deux formules donnant les volumes de vapeur saturée et les tensions maxima en fonction de la température. — M. Moulin expose les vérifications numériques auxquelles il a soumis la formule qu'il a proposée pour représenter la relation caractéristique d'un fluide quelconque. Cette formule est la suivante :

$$p\omega_1 = \frac{RT}{v} - \frac{b_1\omega}{v^{\frac{4}{3}}} + \frac{\frac{R'}{\omega^3}T}{v^{\frac{5}{3}}}.$$

p, v, T, R ont leur signification habituelle ; b_1 et R′ sont des constantes absolues (indépendantes de la substance étudiée). Quant à ω et ω_1, ce sont, pour chaque corps, des fonctions de la température reliées aux valeurs correspondant au point critique par la relation :

$$\frac{\omega_c}{\omega} = 1 + \gamma\left(1 - \frac{T}{T_c}\right) \quad \text{et} \quad \frac{\omega_1}{\omega_{1c}} = 1 + \gamma'\left(1 - \frac{T}{T_c}\right).$$

γ et γ' sont, enfin, des constantes caractéristiques de chaque gaz. Les quantités ω et ω_1 seraient constantes pour un fluide idéal dont les constantes γ seraient nulles. On affectera de l'indice H les quantités relatives à ce fluide idéal.

En partant de l'équation caractéristique donnée, l'application du théorème de l'aire nulle permet de calculer la pression maxima de la vapeur à chaque température, ainsi que le volume spécifique de la vapeur saturante.

On trouve ainsi :

$$\frac{T_c}{T} = \left(\frac{T_c}{T}\right)_H \cdot \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2$$
$$\frac{v}{v_c} = \left(\frac{v}{v_c}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^3$$
$$\frac{p_c}{p} = \left(\frac{p_c}{p}\right)_H \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^5 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1c}}$$

Ce sont ces volumes que M. Moulin a soumis au contrôle de l'expérience.

Prenant comme coordonnées

$$\log\frac{v}{v_c} \quad \text{et} \quad \log\frac{T_c}{T},$$

on a tracé les courbes théoriques correspondant à des valeurs de γ égales à 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5, puis la courbe expérimentale du corps étudié : et l'on a vérifié la courbe expérimentale s'intercalant entre les courbes théoriques.

La vérification a porté sur le fluorure de benzine, la benzine, le chlorure de carbone, l'éther, l'acide acétique, l'alcool méthylique (expériences de M. Young), sur la vapeur d'eau (expériences de M. Tate) et sur l'acide carbonique (expériences de M. Amagat).

L'auteur a fait encore des vérifications analogues pour la formule des pressions. La concordance entre la théorie et l'expérience semble complète, à une exception près : la courbe du sulfure de carbone ne suit pas rigoureusement la courbe théorique ; mais l'écart n'est peut-être dû qu'aux approximations numériques qu'on a dû faire pour achever les calculs.

Sur un appareil pour la mesure des champs magnétiques. — M. Cotton présente à la Société un appareil pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques, destiné à obtenir commodément, en unités C. G. S., la valeur d'un champ dont les lignes de force sont sensiblement horizontales. On peut, comme on sait, déduire l'intensité d'un champ magnétique de la valeur de la force qu'il exerce sur un conducteur parcouru par un courant connu. L'appareil de M. Cotton fonctionne d'après ce principe : c'est une sorte de balance avec laquelle on compare directement à un poids la force en question.

La partie mobile du circuit est fixée sur le pourtour d'une sorte de palette, plate et mince, de forme allongée, qui est elle-même adaptée à l'extrémité du fléau de la balance. On engage, dans le champ à étudier, l'extrémité inférieure de la palette ; celle-ci étant mince, on peut explorer des entrefers étroits. — Le courant qui circule autour de cette palette arrive dans la balance par des fils souples ou des contacts à mercure placés dans le prolongement de l'axe de rotation et permettant, par suite, l'emploi de courants intenses.

La forme de la palette (dont les grands côtés ont la forme d'arcs de cercle centrés sur l'axe de rotation) a été choisie de telle sorte que tout se passe comme si toute la partie mobile du circuit était réduite à un seul *élément de courant*, placé à l'extrémité d'un bras de levier dont la longueur est déterminée par celle du fléau.

La longueur de cet élément de courant équivalent est égale à la différence des rayons des cercles; on peut très facilement la déterminer à moins de $\frac{1}{100}$ près. Pour une mesure absolue il faut, en outre, bien entendu, étalonner l'ampèremètre servant à mesurer le courant; celui-ci peut être, dans bien des cas, le courant même qui circule dans l'électro servant à produire le champ.

M. Cotton fait, devant la Société, la mesure du champ donné par un électro-aimant de laboratoire. Il a mesuré ensuite, sur la demande de M. Villard, les champs, plus faibles, donnés par deux aimants permanents.

L'appareil peut encore servir à mesurer le champ créé par des bobines ; il peut recevoir diverses applications. M. Cotton signale plus particulièrement, dans cette communication, les services qu'il peut rendre à l'enseignement.

Sur l'ionisation des gaz ; par M. Langevin. — Le phénomène de la conductibilité électrique des gaz présente des caractères indépendants de la cause qui a rendu le gaz conducteur (décharge disruptive, chaleur, action de la lumière ultra-violette sur une surface chargée négativement, rayons de Röntgen, rayons des corps actifs, rayons ultra-violets de Lenard, etc.).

En particulier, les charges qui se déplacent quand le gaz est placé dans un champ électrostatique ont la même mobilité quand la température et la pression restent les mêmes.

Ceci a conduit à ramener la conductibilité dans tous les cas à une même cause, qui serait l'existence dans le gaz, de particules chargées ou ions provenant de la dissociation de particules électriquement neutres et pouvant se déplacer dans le gaz sous l'action d'un champ électrostatique, les ions négatifs se déplaçant, en général, dans un même champ plus vite que les ions positifs.

Cette hypothèse de l'existence dans un gaz conducteur d'un nombre fini de centres chargés mobiles reçoit une confirmation dans la manière dont un gaz, rendu conducteur par une cause quelconque, facilite la condensation de la vapeur d'eau sursaturée.

La théorie permet de prévoir que l'existence d'une charge électrique sur une goutte infiniment petite diminue notablement sa tension de vapeur et permet à la condensation de se produire.

Si l'on projette, en effet, d'après le procédé de M. Shelford-Bedwell, l'ombre d'un jet de vapeur sur un écran, cette ombre s'obscurcit dès qu'on produit une aigrette au voisinage du jet, qu'on fait fonctionner un tube

de Crookes, ou qu'on approche du chlorure de baryum radifère. Le nombre des gouttes contenues dans le jet a considérablement augmenté, et M. C.-T.-R. Wilson a montré que, dans certaines conditions, la condensation ne se produit que si le gaz est conducteur et cesse si l'on crée un champ électrostatique dans le gaz de manière à supprimer les ions libres qui s'y trouvent.

Les charges libres que contient un gaz conducteur se trouvent donc réparties entre un nombre fini de centres distincts, que met en évidence la condensation de la vapeur d'eau sur chacun d'eux. Ce phénomène a permis au professeur J.-J. Thomson de mesurer la charge portée par chacun de ces centres, en comptant leur nombre dans un volume déterminé du gaz. Cette charge se trouve égale à celle que porte l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse.

D'autre part, la détermination du rapport de la masse de l'ion négatif à la charge qu'il porte fournit dans tous les cas étudiés (rayons cathodiques, action de la lumière ultra-violette, filament de charbon incandescent, rayons déviables du radium) une valeur environ mille fois inférieure au rapport correspondant pour l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse. La charge transportée étant la même, la masse de l'ion négatif serait la millième partie de celle de l'atome d'hydrogène. L'ion positif, beaucoup plus gros, serait constitué, d'après J.-J. Thomson, par le reste de l'atome.

SÉANCE DU 4 MAI 1900.

PRÉSIDENCE DE MM. CORNU ET H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 avril est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. le Dr Béclère (Antoine), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, à Paris.

M. LE PRÉSIDENT rend compte en ces termes des réunions tenues pendant la semaine de Pâques :

« Conformément à la décision prise par le Conseil, en raison de l'ouverture de l'Exposition universelle, les séances de Pâques ont été consacrées à des expériences et à des communications. Malgré la suppression exceptionnelle de l'exposition d'appareils, la réunion a présenté, sous un aspect nouveau, autant d'intérêt que les précédentes; les séances ont d'ailleurs été très suivies, et le nombre de nos collègues de province qui ont profité de la libéralité des Compagnies de chemins de fer a égalé celui de l'année dernière.

« On a revu avec plaisir les expériences qui avaient été présentées à la Société depuis un an et que leurs auteurs ont bien voulu montrer à nouveau, en donnant, avec la plus grande obligeance, toutes les explications nécessaires à ceux qui n'avaient point encore eu la bonne fortune de les entendre. On doit des remerciements à MM. Becquerel, Berger, Dongier, Guillaume, Riban, Rothé, Teisserenc de Bort. M. d'Arsonval a bien voulu faire installer par M. Gaiffe (qui nous a montré, en outre, une belle machine électrique) de curieuses expériences sur l'étincelle.

« Pendant les journées du vendredi et du samedi, d'importantes communications ont été faites. Un résumé en sera très prochainement envoyé à tous nos collègues, il n'est donc point utile de les analyser ; mais on peut dire quel succès elles ont eu et remercier MM. Gutton, Mathias, Marage, Maurain et Job, Moulin et Turpin. L'assistance était surtout très nombreuse à la séance du vendredi soir, où des communications sur des sujets nouveaux, accompagnées de très belles expériences, ont été faites par MM. Cotton, Curie, Langevin et Villard.

« Le succès de ces séances nous engagera, à l'avenir, tout en conservant notre exposition traditionnelle, à tâcher d'organiser des réunions, comme celles de cette année, auxquelles la présence et le concours actif de nos collègues de province, qui n'assistent point à nos séances ordinaires, apportent un intérêt tout particulier. »

M. le Président annonce à la Société que la grande lunette de l'Exposition de 1900, construite par M. Gautier, se trouve complètement installée et a donné de magnifiques et très nettes images, en particulier d'Arcturus et des taches solaires, résultat d'autant plus remarquable que le miroir du sidérostat et l'objectif, malgré leurs dimensions inusitées, sont sortis directement des polissoirs de M. Gautier sans subir aucune retouche locale. Ce beau succès fait le plus grand honneur à M. Gautier et à l'art de la construction française, dont il est le distingué représentant.

M. le Président annonce à la Société qu'un généreux anonyme a bien voulu faire don d'une somme de 6.000 francs pour contribuer aux frais d'impression du IIIe volume du *Recueil des données numériques* de M. Dufet qui va bientôt paraître. La Société accueille cette nouvelle avec des applaudissements unanimes.

M. le Secrétaire général communique une note de M. Tissot qui, envoyée depuis un mois, n'a pu, à cause des séances de Pâques, être plus tôt portée à la connaissance de la Société.

M. Tissot a réussi à accroître notablement la sensibilité moyenne des radio-conducteurs dont il se sert dans ses expériences de télégraphie sans fil, tout en obtenant une sécurité complète de réception des signaux, en se servant de limailles de nickel oxydé ou d'acier, le radio-conducteur étant placé dans un champ magnétique dont les lignes de force sont paral-

lèles à l'axe du tube. Il décrit les dispositifs employés qui ont permis de recevoir des signaux du *Masséna* à une distance de 33 kilomètres avec des antennes de 30 mètres seulement.

L'action du champ paraît d'ailleurs purement mécanique et se comprend aisément sans faire appel à aucun phénomène nouveau.

M. le Secrétaire général signale l'envoi, par M. *A. Figuier*, d'un certain nombre de notes relatives à divers appareils.

M. Villard, répondant à la réclamation de priorité de M. de Heen, fait observer qu'en raison du caractère conjectural des hypothèses admises (projections d'éther par les flammes, rayons X et rayons cathodiques considérés comme des projections éthérées, etc.) les raisonnements de cet auteur se prêtent difficilement à la discussion. D'autre part, l'extrême généralité de l'énoncé invoqué permet de l'appliquer à toutes les sources de rayons X ou de rayons cathodiques qui restent à découvrir, ce qui paraîtra peut-être excessif. Mais, même en prenant cet énoncé à la lettre, l'auteur estime qu'il n'est pas applicable à ses expériences : il s'est en effet efforcé de démontrer, non que les corps incandescents émettent des rayons X et des rayons cathodiques, mais que, bien au contraire, ils n'émettent absolument rien, sauf dans un champ électrique et que, même alors, il n'y a pas émission de rayons X. En ce qui concerne la partie active de l'étincelle électrique, l'auteur n'a fait que reproduire ce qui a été dit à ce sujet par M. Hofman (*Wied. Ann.*, LX, p. 269, 1897) antérieurement aux travaux de M. de Heen. Sur un seul point, relatif à l'action protectrice exercée par un grillage métallique, il y a similitude entre les résultats publiés de part et d'autre : toutefois, M. de Heen ne parle aucunement de l'inactivité des gaz d'une flamme écrasée sur une cage de Faraday en toile métallique.

A la suite de la communication de la dernière note de M. P. Villard, M. P. de Heen nous communique les extraits suivants de notes publiées par lui en 1898 :

« La première pensée qui vient à l'esprit de l'expérimentateur consiste à admettre que les radiations émises par la source sont la cause de la décharge. Cependant il n'en est rien, car, si l'on vient à interposer entre le conducteur et la source de chaleur une toile métallique, le phénomène est enrayé... Nous voyons que la radiation proprement dite n'intervient pas (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3e série, t. XXXV, p. 29-30)... « Nous avons interposé entre la flamme et l'électroscope un cadre en fil de fer. Ce dernier empêche la décharge, mais celle-ci se produit si l'on charge les fils du cadre d'électricité de même signe que l'électroscope. » (Même volume, p. 190.)

M. P. de Heen pensait, à cette époque, comme M. Villard, que ces faits constituaient une objection à l'hypothèse de l'existence de rayons X ou cathodiques. Il a émis, depuis, une théorie qui le porte à croire qu'il n'en est pas ainsi.

M. P. Villard considère que sa précédente réponse s'applique à la nouvelle note de M. de Heen; il ajoute seulement qu'il lui paraît difficile d'admettre que M. de Heen revendique, maintenant qu'elle est justifiée, une opinion qu'il avait abandonnée à la suite de ses expériences, opinion à laquelle il fait allusion dans le dernier alinéa de sa note.

Sur le rayonnement du radium. — M. H. Becquerel expose comment il a réalisé l'expérience de la déviation du rayonnement du radium dans un champ électrique, suivant les prévisions qu'il avait déduites de l'étude de la déviation magnétique. Le champ électrique employé étant de 10^{12} unités C. G. S. environ, on obtenait la déviation de l'ombre d'un écran plan normal au champ. En combinant les mesures électrostatiques et les mesures magnétiques, on en a déduit, pour la vitesse du rayonnement, $V = 1,6 \times 10^{10}$, pour le rayonnement dont les trajectoires ont un rayon de courbure de 1600 dans un champ magnétique égal à 1, et, pour le rapport des masses matérielles entraînées à la charge qu'elles transportent, on trouve $\frac{m}{e} = 10^{-7}$, comme pour les rayons cathodiques. Ce nombre, combiné avec l'évaluation des charges transportées faite par M. et Mme Curie, permettrait d'admettre que le rayonnement au travers d'une surface de 1 centimètre carré correspondrait à une perte de matière de 1 milligramme en un milliard d'années environ.

M. Becquerel décrit, en outre, plusieurs expériences montrant que, si l'on intercepte le rayonnement du radium par un écran, tel qu'une mince lame d'aluminium, une partie du rayonnement transmis au-delà de l'écran provient directement de la source radio-active et est déviable comme le rayonnement incident. Diverses autres expériences montrent que la partie la plus intense du rayonnement du chlorure de baryum radio-actif, capable de donner en peu de temps une impression notable sur une plaque photographique, se compose de trois parties : une partie déviable, une partie non déviable et très facilement absorbée, signalée par M. et Mme Curie dans le rayonnement du radium, et une partie diffuse plus faible, non déviable, cette dernière pouvant être en partie attribuée à des rayons secondaires.

Système de télégraphie multiplex. — M. E. Mercadier décrit successivement les organes de son système de télégraphie multiplex : le transmetteur qui est un *électrodiapason;* le récepteur, qui est un *monotéléphone;* le *relai télémicrophonique différentiel*, qui sert à la fois à recueillir tous les signaux formés par des courants vibrants de périodes variables; à les distribuer dans le circuit récepteur renfermant les douze monotéléphones que comporte le système; et enfin, par sa combinaison avec un condensateur gradué et une ligne télégraphique artificielle, à éteindre les effets des signaux transmis sur les récepteurs du poste qui transmet.

M. Mercadier donne quelques indications sur les résultats pratiques obtenus à l'aide de son système, qui comporte actuellement la transmis-

sion simultanée de vingt-quatre dépêches sur un même circuit pour desservir deux postes extrêmes tels que Paris et Bordeaux, ou, simultanément, cinq postes échelonnés sur le même circuit, tels que : Paris, Tours, Poitiers, Angoulême et Bordeaux.

M. Mercadier annonce que ses appareils figureront dans la classe 26 de l'Exposition et qu'il indiquera aux membres de la Société les jours et heures où ils pourront les voir fonctionner.

M. Ch.-Ed. Guillaume présente un nouveau modèle, établi sur ses indications, par MM. *Radiguet et Massiot*, d'un appareil servant à démontrer les phénomènes de résonance et de synchronisation.

Un mobile, monté librement sur un axe, lui est relié par un ressort spiral permettant des oscillations de grande amplitude autour de l'axe. Si l'on communique à ce dernier un mouvement oscillatoire sinusoïdal, il le transmet au mobile par l'intermédiaire du ressort, et, si l'on fait décroître successivement la période du mouvement excitateur, on observe d'abord des mouvements du mobile d'amplitude égale à celle de l'excitation ; puis l'amplitude des mouvements augmente et devient très grande au moment de la synchronisation. Lorsque le mouvement excitateur est très rapide, le mobile prend une position fixe. Le travail dépensé pour entretenir le mouvement excitateur est très faible dans les cas extrêmes et beaucoup plus considérable pendant la synchronisation.

En montant sur l'axe une série de mobiles accordés suivant les harmoniques du mouvement fondamental, on pourrait réaliser un analyseur harmonique.

Il suffirait de donner à l'axe un mouvement angulaire reproduisant les amplitudes du mouvement à analyser.

SÉANCE DU 18 MAI 1900.

Présidence de M. Cornu.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Dr Berger (Émile), membre correspondant des Académies royales de médecine de Belgique et de Madrid à Paris ;

Dr Meyer (Stefan), Privat docent de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société de Physique vient de faire en la personne de M. Paul *Poiré*, professeur honoraire au

Lycée Condorcet, ancien membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique et ancien membre du Conseil de la Société.

Rayonnement du radium. — M. P. Villard montre que le radium émet des rayons non déviables et extrêmement pénétrants, différents de ceux qui ont été observés jusqu'à ce jour. Leurs trajectoires peuvent être aisément étudiées en recevant un faisceau étroit du rayonnement total sur plusieurs plaques photographiques superposées, enveloppées ou non de papier noir, inclinées sous une incidence presque rasante et placées dans un champ magnétique. Sur la première plaque on obtient deux impressions partiellement superposées et manifestement distinctes : l'une correspond aux rayons déviés; l'autre, plus faible, absolument rectiligne, représente la trajectoire des rayons en question. Les plaques disposées au-dessous de la première n'enregistrent que ce qui a traversé celle-ci, et la trace du faisceau non dévié y est seule visible, presque aussi intense d'ailleurs que sur le premier cliché. Il existe donc des rayons qui traversent sans affaiblissement notable une épaisseur de verre capable d'arrêter complètement, pour le même temps de pose, les rayons déviables. Cette puissance de pénétration explique que l'impression produite sur chaque plaque soit beaucoup plus faible que pour les rayons déviables. Il en serait sans doute autrement si l'épaisseur du gélatino-bromure était proportionnée au pouvoir pénétrant des rayons à photographier.

L'auteur pense qu'il s'agit de véritables rayons X, caractérisés au moins par la propriété connue d'être plus pénétrants que les rayons cathodiques. Les rayons non déviables très absorbables observés par M. et Mme Curie seraient peut-être l'analogue des rayons cathodiques non déviables signalés par M. Thomson, il y a quelques années. On retrouverait ainsi les trois rayonnements des tubes de Crookes.

L'auteur expose ensuite quelques résultats relatifs à la réfraction apparente des rayons déviables. Le désaccord qui existait entre les observations de M. Becquerel et les siennes paraît tenir à la différence d'épaisseur des lames employées, le phénomène ne se produisant nettement, avec l'aluminium, qu'à partir d'une épaisseur de deux ou trois dixièmes de millimètre. Pour observer facilement cette réfraction, on peut diriger les rayons très obliquement sur une lame d'aluminium recouverte d'une plaque de plomb présentant une fente perpendiculaire à la ligne de plus grande pente du faisceau. Une plaque photographique placée au-dessous donne alors deux images de la fente : l'une, non déviée, est due aux rayons très pénétrants signalés plus haut, faciles à caractériser précisément par leur puissance de pénétration ; l'autre image se produit, au contraire, dans un plan normal à la lame et passant par la fente. On peut donner à l'expérience une forme un peu différente et recevoir, par exemple, des rayons très obliques sur une lame de verre posée sur une plaque sensible et recouverte d'une rondelle de plomb percée d'une ouverture de 15 millimètres de diamètre. On obtient deux images de l'ou-

verture, en partie superposées, tout à fait semblables d'aspect à celles qu'on aurait avec un faisceau lumineux cylindrique traversant un prisme biréfringent.

Au courant de ces expériences, l'auteur croit avoir remarqué que le verre est plus transparent que l'aluminium pour ces rayons à transmission normale.

Mouvements tourbillonnaires permanents dans un liquide transportant de la chaleur par convection. — M. H. Bénard a fait une étude descriptive et a déterminé les lois des mouvements tourbillonnaires stables qui se produisent en régime permanent, dans une nappe liquide horizontale mince, d'épaisseur uniforme, transportant de la chaleur de bas en haut par convection. Les conditions thermiques sont uniformes dans le plan horizontal : la couche liquide est placée sur un bloc métallique épais traversé par un flux de chaleur vertical parfaitement uniforme et connu. La surface libre rayonne simplement dans l'atmosphère.

La loi fondamentale est l'équidistance de deux centres d'ascension contigus, et la structure ainsi créée n'est autre que la structure cellulaire régulière : les surfaces sans rotation instantanée sont planes, verticales, et divisent la masse entière en prismes droits à base polygonale, tous égaux; les polygones tendent vers la forme limite de l'hexagone parfaitement régulier. A l'intérieur de ces « cellules », la circulation permanente a lieu sur des lignes de filet fermées, contenues dans chaque plan vertical passant par l'axe. Dans chacun de ces azimuts, les filets entourent un point immobile, situé beaucoup plus près de la paroi latérale sans rotation que de l'axe et un peu plus près de la surface libre que de la paroi du fond, à cause de la dissymétrie produite par le frottement du liquide contre cette paroi. Les vitesses angulaires, à partir du point immobile, vont en décroissant lentement. La période du filet de longueur infiniment petite, est donc la plus courte des périodes de cette circulation permanente.

M. H. Bénard se borne à résumer les méthodes d'observation et d'enregistrement photographique fondées sur des propriétés mécaniques. Les méthodes optiques, beaucoup plus précises, seront développées dans une autre communication.

1° La loi de condensation des particules solides extrêmement fines, en suspension sur les filets liquides, et participant à la circulation, peut se résumer ainsi : la densité pulvérulente est d'autant plus grande que la vitesse linéaire est plus faible, les filets périphériques sont absolument transparents. Par transmission, on observe des noyaux clairs très étalés et un cloisonné polygonal clair très délié.

A l'aide de particules lamellaires et brillantes on obtient des apparences caractérisées par le relief des filets liquides ;

2° Des poussières plus denses que le liquide, primitivement incorporées, se déposent uniquement au centre de la cellule, où les amènent les courants centripètes balayant la paroi du fond. De là résultent des petits tas

équidistants, formant un quinconce à symétrie senaire parfaitement régulier;

3° Les courants centrifuges de la surface libre forcent un grain de poussière projeté sur cette surface à décrire un chemin brisé qui l'amène finalement au plus voisin sommet ternaire du réseau polygonal : ces sommets sont les seules positions d'équilibre stable des particules flottantes.

SÉANCE DU 1er JUIN 1900.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. LE SECRÉTAIRE du « *Board of Education* » à Londres (Angleterre).

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. *Boutan*, Inspecteur général honoraire de l'Instruction publique. M. Boutan, qui avait été un professeur très remarquable, fut l'un des fondateurs de la Société ; il est l'auteur de travaux estimés, en particulier d'un excellent *Traité de Physique*, écrit en collaboration avec d'Almeida.

M. DE HEEN adresse la nouvelle lettre suivante à propos d'une récente communication de M. VILLARD.

« M. Villard, au lieu de maintenir le débat sur une question de *fait*, le reporte sur une question de *doctrine*. Toutes les hypothèses ont un caractère *conjectural;* mais ce qualificatif implique pour le lecteur que je me suis livré à des raisonnements embrouillés, qui seuls *se prêtent difficilement à discussion*.

« Une hypothèse doit être simple, expliquer l'ensemble des faits *connus* et non les faits *inconnus*, comme le prétend mon savant contradicteur, enfin prévoir de nouveaux faits.

« La conception du souffle éthéré à côté des ondes éthérées est aussi simple que celle du souffle de l'air à côté des ondes sonores.

« Elle a *prévu* la réalisation des figures géométriques de l'hydrodynamique, au même titre que les interférences ont été prévues par la théorie des ondulations. Les premières seraient déterminées par le *néant*, d'après M. Villard.

« La décharge est enrayée dans l'expérience dont il a été question, parce que les lignes de force sont *raccordées*. L'argumentation de M. Villard entraînerait la négation des rayons X.

« L'absence de décharge par les flammes écrasées par une toile métallique est un corollaire évident de notre théorie.

« En résumé, je ne vois aucun inconvénient à abandonner à M. Villard une idée que j'avais émise avant lui et qui est contraire aux faits nouveaux. Je suis également heureux d'attribuer à M. Hofmann la part qui lui revient concernant l'étude de la partie active de l'étincelle. »

M. le Secrétaire général donne lecture de la note suivante, adressée par M. C. Tissot, lieutenant de vaisseau :

Radio-conducteurs à électrodes polarisées; par M. Tissot. — Nous avons signalé, dans une récente note, un dispositif destiné à accroître la sensibilité des radio-conducteurs, type Branly, et à permettre d'en faciliter le réglage. La pratique du procédé nous a permis d'obtenir des résultats qui nous mettent en mesure de faire l'application immédiate du système à la marine de guerre. Sans insister sur l'importance que peut présenter la télégraphie sans fil au point de vue de la défense nationale, on conçoit que nous soyons tenus à la plus grande réserve sur les détails des moyens employés.

En principe, les modifications que nous avons fait subir aux appareils précédemment décrits portent à la fois sur le transmetteur et sur le récepteur. La puissance du transmetteur a été accrue par l'emploi d'un transformateur capable d'utiliser directement le courant continu des dynamos du bord. Une disposition convenable de capacités, distribuées tant sur le primaire que sur le secondaire, a permis d'utiliser plus complètement l'énergie mise en jeu. Le récepteur a pour organe spécial un tube à limaille magnétique, placé dans un champ magnétique réglable, parallèle à l'axe du cohéreur.

Ce champ, qui est variable à volonté, permet d'obtenir la sensibilité voulue sans nuire à la facilité de retour.

On est ainsi arrivé, sans l'emploi d'aucun des dispositifs spéciaux, brevetés par M. Marconi sous les noms de « figgu » ou de « transformateur », à échanger des télégrammes d'une *netteté parfaite*, à la distance de 35 milles marins (65 kilomètres).

Ce résultat, assez intéressant par lui-même, car c'est la première fois, croyons-nous, qu'on arrive, en France, à franchir de pareilles distances, a été obtenu avec des antennes de 30 mètres à l'un des postes et de 26 mètres à l'autre. La distance franchie se trouve donc supérieure à 1 mille par mètre d'antenne.

Il paraît démontrer la bonne qualité des tubes employés. Or ces tubes présentent les particularités suivantes :

Ils ont été préparés avec des électrodes et des limailles oxydables, mais dans des conditions telles que l'oxydabilité ne semble jouer aucun rôle. Dans l'un de ces tubes, la limaille est constituée par de petits fragments de fil de fer de $\frac{2}{10}$ de millimètre de diamètre. Le fil est décapé soigneuse-

ment et coupé par tronçons de 1 millimètre à $\frac{5}{10}$ de millimètre de longueur. Les bouts de fil sont enfermés immédiatement entre les électrodes, qui sont, elles aussi, décapées avec le plus grand soin. On fait rapidement le vide dans le tube et, par surcroît de précaution, on enferme dans une ampoule latérale des fragments de *carbure de calcium*.

Ces précautions semblent devoir exclure l'hypothèse d'un rôle important joué par l'oxydabilité du métal.

En fait, nous avons des tubes qui, conservés depuis deux mois, sont restés aussi brillants et présentent la même sensibilité qu'au début.

On a semblé admettre que les radio-conducteurs sensibles n'étaient guère capables de présenter — selon l'expression très heureuse de M. Blondel — une tension critique de cohérence supérieure à 2 volts.

Les tubes à électrodes polarisées sont susceptibles de fonctionner en conservant la même sensibilité et une égale facilité de retour avec des forces électromotrices de $0^{v},5$ à 4 volts, à condition de régler le champ en conséquence.

Il ne paraît pas d'ailleurs avoir avantage, en pratique, à réduire la force électromotrice appliquée au-dessous de 1 volt, même lors de l'emploi d'un relais à cadre mobile.

Depuis plus d'un an, ainsi que nous l'avons signalé d'ailleurs déjà à la Société de Physique, c'est en effet d'un pareil relais (relais Claude de 175^{ω} de résistance) que nous faisons usage. Le choix du relais nous est imposé non pas surtout par la condition de faire travailler le cohéreur au voisinage de son maximum de sensibilité, mais par les conditions toutes spéciales de fonctionnement à bord d'un bâtiment où les appareils se trouvent soumis aux trépidations et au roulis.

M. le Secrétaire général signale également une note de M. Meslin sur une machine permettant de résoudre par des pesées les équations algébriques.

Appareil représentant mécaniquement les phénomènes présentés par les condensateurs. — M. Vasilesco Karpen présente à la Société un petit appareil qui réalise la conception suivant laquelle le diélectrique serait un milieu élastique, les conducteurs détruisant, là où ils se trouvent, la cohésion de ce milieu et permettant aux forces électromotrices d'avoir prise sur lui.

Chacune des armatures est figurée par un ensemble de deux roues folles sur un axe et engrenant à leur périphérie avec un pignon dont la rotation figure le *courant* de charge.

Le *diélectrique* est figuré par des ressorts fixés d'un côté à l'axe, de l'autre à la périphérie des roues; les ressorts compris entre les armatures étant beaucoup moins raides que les ressorts figurant le diélectrique extérieur.

Le *potentiel* de chaque armature, ainsi que le *potentiel* de charge, est

représenté par le couple de torsion du pignon correspondant ; l'angle dont tourne ce pignon figure la *charge totale* de l'armature ; l'angle dont tourne une roue, la *charge d'une face*.

Ces *charges* seront *positives* ou *négatives*, selon que la rotation se fait dans un sens ou dans l'autre.

On *isole* ou l'on *met à la terre* une armature, en calant son pignon ou en le laissant, au contraire, libre de tourner.

Des aiguilles se mouvant devant des divisions montrent à chaque instant la charge des faces.

L'appareil reproduit fidèlement le déplacement des charges qui ont lieu pendant le fonctionnement des condensateurs, notamment la charge et la décharge successives. Il permet de concevoir la cause des attractions et répulsions entre les armatures.

La valeur de l'énergie accumulée a la même forme que celle de l'énergie accumulée dans les condensateurs.

La décharge disruptive, la décharge lente à travers le diélectrique ainsi que la charge rémanente, trouvent leurs analogues dans l'image mécanique.

Enfin, si le moment d'inertie des pièces en mouvement, figurant la *self-induction*, est grand relativement aux frictions figurant les *résistances*, la décharge de l'appareil prendra la forme oscillatoire.

Sur les lois des chaleurs spécifiques des fluides. — M. Amagat expose la première partie d'un travail entrepris pour établir l'ensemble des lois des chaleurs spécifiques des fluides ; les calculs dont il expose aujourd'hui les résultats et qui ont porté sur toute l'étendue du réseau de l'acide carbonique, c'est-à-dire de 0° à 260° et jusqu'à 1.000 atmosphères, sont seulement ceux qu'il a obtenus en partant de la relation très connue

$$\frac{dC}{dp} = - AT \frac{d^2V}{dt^2}.$$

Tous les calculs ont été faits graphiquement ; deux dérivations effectuées ainsi en partant d'un réseau de lignes d'égale pression lui ont fourni un tableau des valeurs de $\frac{d^2V}{dt^2}$, contenant plus de mille déterminations ; un réseau construit ou portant ces valeurs en ordonnées et les pressions en abscisses permet d'énoncer de suite un certain nombre de lois relatives aux variations de C à température constante ; si on remarque, en effet, que, dans ces conditions, $\frac{d^2V}{dt^2}$ étant fonction de la pression, on peut écrire :

$$\frac{dC}{dp} = AT\varphi(p)$$

par suite :

$$C - C_0 = - AT \int_{p_0}^{p_1} \varphi(p)\, dp,$$

on voit que les variations de C à partir d'une valeur connue C_0 seront données par les aires comprises entre les isothermes du réseau et l'axe des pressions; il résulte de la simple inspection du diagramme que :

1° Pour les températures inférieures à la température critique, C augmente avec la pression jusqu'à la saturation, subit alors une variation brusque, quand le fluide passe de l'état de vapeur à l'état de liquide saturé, puis diminue indéfiniment;

2° Pour les températures supérieures à la température, des variations analogues ont lieu, sauf le changement brusque accompagnant le changement d'état;

3° Le maximum par lequel passe aussi la valeur de C a lieu sous une pression croissant continuellement avec la température constante considérée. Ce maximum est d'autant plus prononcé que la pression est plus proche de la pression critique pour laquelle il prend une valeur infinie;

4° Ces variations pour l'état gazeux diminuent continuellement quand la température croît, à partir de la température critique, et finissent par devenir très petites; de même que, pour chaque température, elles décroissent indéfiniment à partir d'une certaine pression et finissent aussi par devenir très petites.

Enfin M. Amagat établit la relation suivante, pour calculer la variation de C qui accompagne pour chaque température le changement d'état :

$$C - C' = AT\left[(u - u')\frac{d^2p}{dt^2} + \frac{dp}{dt}\left(\frac{\delta(u - u')}{dt}\right)_p + \frac{dp}{dt}\frac{d(u - u')}{dt}\right].$$

Cette formule, dont deux termes sont négatifs, et l'autre positif, ne permet pas de déterminer *a priori* le signe de $C - C'$.

Tourbillons cellulaires : Étude optique de la surface libre. Lois numériques; par M. H. Bénard. — La surface libre de la nappe liquide, siège de la circulation permanente décrite, n'est pas plane. Les dépressions sont d'ailleurs très faibles, de 1μ au plus pour une épaisseur de 1 millimètre. (Toutes les mesures se rapportent au spermaceti et aux températures de 50° à 100°.) La partie centrale de chaque cellule est une cuvette concave : le rayon de courbure de l'ombilic varie de 40ᶜ à $+\infty$ dans les conditions réalisées; ces cuvettes se raccordent suivant des lignes de faîte, véritables crêtes à courbure très prononcée (le rayon peut descendre à 10ᶜ), qui dessinent le réseau d'hexagones. Les méthodes optiques suivantes ont été appliquées soit à l'étude du faisceau réfléchi par la surface libre, soit à celle du faisceau réfracté par le liquide, la paroi du fond étant constituée, dans ce cas, par un miroir d'acier optiquement plan.

1° Déformation de l'image d'un grillage quadrillé régulier, chaque point de l'image formé par réflexion sur une portion presque ponctuelle de la surface liquide (Foucault);

2° Relief exagéré en éclairage cylindrique (Foucault) : ce procédé donne de très beaux résultats avec la lumière réfractée;

3° Franges d'interférence à grande différence de marche dans l'air, dessinant les courbes de niveau de la surface libre, en lumière monochromatique (arc au mercure dans le vide);

4° Franges d'interférence entre les deux faces de la lame liquide elle-même : connaissant les courbes de niveau d'après 3°, on en déduit la distribution des isothermes moyennes en projection horizontale. Le résultat expérimental est que les différences de densité motrices sont dues à des différences de température très faibles, de l'ordre de 1° au plus;

5° Foyers et lignes focales remarquables, par réflexion et par réfraction (ombilics concaves, lignes de faîte convexes).

Les mesures effectuées sont d'ordre géométrique, cinématique et thermique.

I. 1° L'épaisseur de la nappe liquide, de l'ordre de 1 millimètre en général, est mesurée à 2 ou 3$^{\mu}$ près;

2° Les dimensions transversales des cellules sont mesurées à $\frac{1}{1000}$ près sur des clichés ne contenant que des hexagones réguliers enregistrés par la cinquième méthode optique;

3° Les clichés de franges permettent de mesurer les dépressions supérieures à 0$^{\mu}$,01.

II. 4° En suivant en projection horizontale le mouvement pendulaire parfaitement isochrone d'un grain de poussière incorporé, on mesure les périodes des différents filets (ordre de grandeur, 1 seconde).

III. 5° Un bloc cylindrique très épais, en fonte, permet les mesures les plus précises de température et de flux de chaleur vertical, à l'aide de couples thermoélectriques très sensibles.

Le refroidissement extrêmement lent du bloc de 100° à 50° en quatre heures permet d'effectuer une très longue série de mesures simultanées, avec des conditions thermiques variant très lentement et très régulièrement.

Résultats généraux. — 1° La dimension stable de l'hexagone, ou, si l'on veut, la distance λ de deux centres d'ascension contigus, ne dépend pas, au moins sensiblement, du flux de chaleur, mais seulement de l'épaisseur et de la température moyenne du liquide;

2° La distance λ est, en première approximation, proportionnelle à l'épaisseur e; la loi exacte est plus compliquée.

A 100°, λ croît plus vite que e. De 100° à 50°, pour une même épaisseur, $\frac{e}{\lambda}$ croît d'abord, puis décroît;

3° Le maximum de $\frac{e}{\lambda}$ a la même valeur 0,310 pour toutes les épaisseurs (loi vérifiée à $\frac{1}{500}$ près), bien que la température pour laquelle il a lieu décroisse quand e croît;

4° La surface libre devient plane beaucoup plus tôt aux petites épaisseurs qu'aux grandes. Les dépressions relatives vont en croissant avec e et décroissent très vite quand le flux décroît;

5° Les vitesses linéaires, toutes choses égales, varient à peu près proportionnellement au flux transporté.

La force vive totale reste toujours extrêmement faible, comparée à l'énergie calorifique transportée par seconde. Le rapport est de l'ordre de 10^{-8};

6° La régularité des cellules, dans des conditions uniformes données, croît très vite, à mesure que l'épaisseur décroît. A ce point de vue, la différence est énorme entre $0^{mm},5$ et 1 millimètre. L'écart moyen des valeurs individuelles de λ, avec leur moyenne, passe, par exemple, de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{10}$. Donc, plus l'épaisseur est faible, plus le réseau polygonal s'approche du type parfait, qui crée la symétrie hexagonale régulière sur une étendue considérable par rapport aux dimensions des cellules.

SÉANCE DU 15 JUIN 1900.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juin est lu est adopté,

Est élu membre de la Société :

M. PÉLISSIER (Eugène), maître de conférences à l'Institut national agronomique, professeur à l'Ecole Coloniale à Paris.

M. LE PRÉSIDENT signale à la Société la présence d'un certain nombre de savants étrangers, M. BOYS, DE COPPET, HENRI DUFOUR et LINDECK, et leur souhaite la bienvenue.

Comparaison entre le thermomètre à résistance de platine et le thermomètre à azote. — M. P. CHAPPUIS expose les résultats des comparaisons entre le thermomètre à résistance de platine et le thermomètre à azote, effectuées au Bureau international des Poids et Mesures, à l'instigation de l'Observatoire de Kew, afin d'établir la marche du thermomètre de platine en fonction de l'échelle normale des températures.

Les expériences ont été faites en commun par M. J.-A. Harker, *research assistent* de l'Observatoire de Kew, qui s'était chargé des mesures électriques, et par M. P. Chappuis, plus spécialement occupé par les observations du thermomètre à gaz.

Les trois thermomètres de platine soumis aux comparaisons étaient accompagnés des appareils de mesure, construits à cet effet en Angleterre, et appartenant à l'Observatoire de Kew.

Les comparaisons comprennent les trois groupes d'expériences suivants :

1° Comparaisons dans l'intervalle de température (— 23° à 100°) des thermomètres de platine avec quatre thermomètres étalons à mercure du Bureau international, dont l'échelle avait été déterminée avec précision par des comparaisons directes avec le thermomètre à hydrogène;

2° Comparaisons dans l'intervalle (100° à 200°) avec un thermomètre à azote sous volume constant dont le réservoir était en verre dur. Pression initiale, 793 millimètres environ. Les thermomètres étaient comparés dans un bain d'huile occupant le milieu d'une chaudière, dans laquelle on pouvait entretenir l'ébullition de divers liquides sous différentes pressions;

3° Comparaisons dans l'intervalle (250° à 450°) avec un thermomètre à azote sous volume constant avec réservoir de porcelaine. Pression initiale, 525 millimètres. Ces mesures ont été faites dans un bain, composé d'un mélange des nitrates de soude et de potasse, qui a servi également jusqu'à 589° pour quelques observations supplémentaires sur un seul thermomètre de platine.

Les résultats de ces comparaisons confirment, d'une manière générale, l'expression parabolique, de la différence de marche, trouvée par M. Callendar :

$$t - p_t = \delta \left(\frac{t^2}{100^2} - \frac{t}{100}\right),$$

avec cette restriction toutefois que la valeur de δ égale, suivant M. Callendar, à 1,50 pour les thermomètres de platine comparés, a été trouvée égale à 1,54, par MM. Harker et Chappuis.

Les comparaisons faites dans le voisinage du point d'ébullition du soufre ont conduit, pour cette température, à la valeur 445°,2; tandis que MM. Callendar et Griffiths avaient trouvé, en 1891, 444°,5 et que la valeur de Regnault obtenue en 1862 est 447° 5.

MM. Harker et Chappuis ont constaté que l'appareil dit tube de Meyer, décrit récemment par MM. Callendar et Griffiths donne pour l'ébullition du soufre une température d'une constance remarquable.

Quelques transformations des rayons X. — M. Henri Dufour (de Lausanne) fait un court résumé de ses recherches sur la diffusion des rayons X dans l'intérieur des corps. Les rayons de Röntgen provoquent, dans toute la masse de certains corps, tels que le bois, la paraffine, les huiles, la formation de radiations semblables à celles étudiées par M. Sagnac. Ces radiations peuvent se propager dans la masse du corps; elles sont rapidement affaiblies en changeant de milieu, mais impressionnent cependant une plaque photographique enveloppée de plusieurs doubles de papier.

M. Dufour a cherché si les corps soumis aux rayons X se comportent, après cette exposition, comme des corps phosphorescents, les résultats sont encore douteux; ils se compliquent, en effet, des actions directes que les corps exercent sur la plaque, même au travers du papier. Ces actions

directes sont très énergiques avec certains métaux : zinc, aluminium, fraîchement polis; — il faut en tenir compte dans toutes les études sur les transformations des radiations faites par le moyen des impressions photographiques.

Sur le retard de décharge et certaines expériences de M. Warburg [1] (Communication faite par M. G. Sagnac au nom de M. Swyngedauw). — M. Jaumann a montré que, dans certains cas, si une différence de potentiel est établie entre les pôles d'un excitateur, il peut arriver que l'étincelle n'éclate pas aussitôt, mais seulement au bout d'un certain temps appelé retard de décharge variable avec le potentiel.

Suivant que la charge dure très peu ou très longtemps, le potentiel explosif est plus ou moins grand.

M. Swyngedauw explique ce retard par la couche d'oxyde qui ternit les surfaces polaires de l'excitateur sous l'action des étincelles; si les surfaces polaires sont bien polies, le retard disparaît.

M. Warburg mesure les potentiels explosifs d'un excitateur qu'il charge soit pendant un temps très court (1/300 de seconde), soit pendant quatre ou cinq minutes.

Dans la charge *brève*, le potentiel explosif est notablement plus petit que dans la charge lente, si l'excitateur est éclairé par la lumière ultra-violette.

M. Swyngedauw démontre, à l'aide d'un appareil fondé sur un principe analogue à celui de M. Warburg, que, dans la charge brève, l'étincelle éclate toujours au moment même où la charge se produit (et elle se produit par étincelle), c'est-à-dire pendant que le potentiel varie très rapidement, de sorte que les expériences de M. Warburg doivent s'expliquer par cette proposition. L'abaissement du potentiel explosif soumis à la lumière ultra-violette est une fonction croissante de la vitesse de variation du potentiel entre les pôles de l'excitateur, à l'instant où l'étincelle éclate [2].

SÉANCE DU 6 JUILLET 1900.

Présidence de M. Bouty.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Berlemont, Constructeur d'instruments de précision, à Paris.

De Bodola, Professeur de géologie à l'Ecole Polytechnique de Budapest (Hongrie).

Treuvey (l'abbé Charles), Professeur de physique au collège de la Trinité, à Lyon.

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 16.

(2) *C. R.*, 16 mai 1896, t. CXXII, p. 1052.

Recherches sur l'existence du champ magnétique produit par le mouvement d'un corps électrisé; par V. Crémieu. — D'après les idées de Maxwell, un corps électrisé, se déplaçant avec une vitesse v et possédant une densité superficielle électrique σ, produira, le long de sa trajectoire, le même champ magnétique qu'un courant de conduction dont l'intensité i serait :

$$i = ds\,\sigma\,\frac{v}{V},$$

ds désignant l'élément de surface, et V le rapport des unités électro-magnétiques aux unités électrostatiques de quantité d'électricité.

Cette hypothèse parut être confirmée par les expériences de M. Rowland, faites à Berlin, en 1878.

En 1884, M. Lecher obtint cependant un résultat négatif. Mais, en 1889, M. Rowland et Hutchinson obtinrent de nouveau un résultat positif.

La même année, M. Lippmann montra que l'inverse de cet effet devait être une force pondéromotrice d'induction agissant sur un corps électrisé statiquement placé dans un champ magnétique variable. La valeur de cette force était :

$$\mu\,\frac{dH}{dt},$$

μ désignant la charge du corps, $\frac{dH}{dt}$ la variation du champ.

En juin 1889, M. Lodge publia, sur l'existence de cette force, des expériences dont les résultats sont très incertains.

M. Lippmann m'a proposé de vérifier l'existence de cette même force. Il n'avait pas connaissance des travaux de M. Lodge.

Je me suis placé dans des conditions où toutes les causes d'erreurs, très nombreuses du reste, étaient éliminées par une série d'expériences à blanc précédant l'expérience définitive.

La force aurait dû être égale à 2 millièmes de dyne. Elle agissait sur une balance de torsion dont le couple directeur, dû à un faisceau de 3 fils d'argent de 1/50 de millimètre, était égal à 6 millièmes d'erg pour 1 radian. Dans ces conditions, on devait observer, sur une échelle placée à $1^m,10$, une déviation d'environ 150 millimètres, pour un potentiel de charge de 600 volts, et une variation magnétique mesurée, égale à 8.100 (en unités électro-magnétiques C. G. S.).

Je n'ai jamais pu obtenir aucune déviation.

Une étude des mémoires de M. Rowland me montra alors que ses expériences prêtent à de nombreuses critiques. La plus importante est que les déviations observées, tout en étant d'accord avec le calcul, sont de l'ordre même des variations de zéro que présente habituellement un système aussi astatique sensible que celui employé par M. Rowland dans ses expériences.

Je me suis proposé de refaire ces expériences en me plaçant dans des

conditions où les déviations calculées seraient plusieurs fois plus grandes que les variations de zéro de l'appareil de mesure.

Le principe des expériences était le suivant:

Un disque de 37 centimètres de diamètre tourne, à raison de 100 à 130 tours par seconde, au centre d'une bobine annulaire portant 13.000 tours de fil de cuivre dont les extrémités sont reliées à un galvanomètre Thomson, très sensible.

Si on charge brusquement le disque en mouvement, le courant de convection ainsi créé induira un courant dans la bobine et donnera une impulsion au galvanomètre.

Un interrupteur approprié permettait de transformer cette impulsion en une déviation permanente.

L'appareil avait été étalonné à l'aide de spires de fil de diamètre croissant, fixées sur un disque d'ébonite identique au disque tournant et occupant sa position au centre de la bobine. En envoyant dans ces spires, à l'aide de l'interrupteur, des courants d'intensité connues, on pouvait, par les déviations obtenues, calculer un coefficient de l'appareil tel que, multiplié par l'intensité d'un courant quelconque, il donnait la déviation résultante au galvanomètre.

L'intensité du courant de convection était d'ailleurs connue par le nombre de tours et la densité superficielle électrique du disque.

Les déviations attendues étaient de 20 à 50 millimètres : la variation de zéro du galvanomètre était de 2 à 5 millimètres; je n'ai jamais pu obtenir de déviations plus grandes que ces variations de zéro. Leur sens même ne coïncidait qu'accidentellement avec le sens attendu.

J'en conclus qu'une charge en mouvement ne produit pas de champ magnétique.

Cette conclusion de fait conduit logiquement à rejeter les théories actuelles du courant électrique.

Il serait prématuré de vouloir les remplacer dès maintenant par une théorie nouvelle. Mais je me propose un certain nombre d'expériences dont quelques-unes sont déjà réalisées, et dont l'ensemble me paraît devoir donner une solution meilleure de la question.

Sur la propagation des ondes dans les mélanges gazeux en combustion. — M. H. Le Chatelier a étudié la propagation de l'onde explosive et des ondes condensées dans les mélanges gazeux en employant la méthode photographique dont il s'était servi avec M. Berthelot pour mesurer la vitesse de propagation de l'explosion dans l'acétylène comprimé.

Dans les mélanges d'acétylène et d'oxygène, l'onde explosive prend brusquement naissance à une certaine distance en avant, 5 centimètres environ, de la flamme à vitesse variable provoquée initialement par l'étincelle électrique.

Dans les mélanges d'oxydes de carbone et d'oxygène, l'onde explosive ne prend pas naissance spontanément, mais peut être provoquée par une

charge convenable de fulminate, qui ne doit être ni trop faible, ni trop forte.

Les ondes condensées à grande vitesse de propagation prennent spontanément naissance au début et à la fin de l'onde explosive. Elles peuvent être provoquées par la détonation d'un fulminate de mercure dans les gaz brûlés. Leur vitesse a toujours été trouvée inférieure à celle de l'onde explosive proprement dite.

Ces ondes éprouvent des changements brusques de vitesse par influence ou croisement; mais, en dehors de ces perturbations leur vitesse varie peu.

Sur un nouveau type de trompe à mercure; par MM. Berlemont et Jouard. — Le type de trompe à mercure, présenté à la Société, a été conçu dans le but d'obtenir un appareil simple, automatique, d'un modèle réduit, très robuste et d'un nettoyage facile.

Lorsqu'on veut faire le vide avec les appareils actuels, on se heurte à une très grosse difficulté; les nombreux robinets dont ils sont généralement munis sont autant de causes de fuite.

Quelque parfait que puisse être le rodage d'un robinet en verre, il nécessite l'emploi de graisse; or, lorsque la raréfaction arrive à une certaine limite, cette graisse émet des vapeurs qui empêchent de pousser le vide plus loin.

Grâce à divers artifices de construction, MM. Berlemont et Jouard sont parvenus à éviter complètement les robinets, dont la suppression partielle réalisait déjà un très sérieux progrès dans leur modèle de 1898.

Ils sont parvenus, en outre, à supprimer la présence du caoutchouc et, par suite, du soufre sur le parcours du mercure, ainsi que les tubes courbés, dans la concavité desquels se logent si facilement les bulles gazeuses que peut entraîner le mercure.

Les chutes qui, dans les modèles usuels sont très fragiles, par suite de leur soudure avec le reste de l'appareil, et qui ne se nettoient que difficilement sont absolument indépendantes dans ce nouveau type de trompe; elles peuvent être très facilement remplacées et nettoyées.

Cette trompe peut fonctionner sans aucune surveillance, à condition d'être accouplée à une trompe à eau, qui actionne le remontage automatique du mercure.

Enfin elle n'utilise pour son fonctionnement que 5 à 6 kilogrammes de mercure, ce qui a permis, étant donné son faible volume, de la disposer tout entière dans une cage vitrée très peu encombrante qui peut se suspendre contre un mur ou se poser à terre, et où elle est parfaitement à l'abri des chocs, de la poussière et de l'humidité.

Fonctionnement. — Après avoir mis dans les vases inférieurs le mercure nécessaire, ainsi que dans le réservoir de la jauge et dans le cylindre E jusqu'au tiers environ de sa hauteur, on adapte la trompe à eau en A; on ouvre le robinet R et, au moyen de la pince B, on laisse monter le mercure dans le réservoir C, et on l'arrête avant qu'il n'ait obstrué le tube central.

On laisse la trompe à eau fonctionner jusqu'à sa limite de vide, on ferme alors le robinet R et on laisse à nouveau le mercure remplir le réservoir C.

On retire la trompe à eau de A pour la fixer en A'. (A ce moment le manomètre indique la pression obtenue et sert en même temps d'obturateur.)

La trompe à eau a mis en mouvement le remontage du mercure qui vient se déverser dans le réservoir E, fait monter le mercure dans le tube barométrique et commence à alimenter les chutes.

Pour se servir de la jauge de Mac Leod, on ouvre le robinet R, la pression atmosphérique s'établit à l'intérieur du réservoir et permet au mercure de monter dans la jauge.

Pour rappeler le mercure de la jauge après lecture, il suffit de reporter l'aspiration de la trompe à eau de A' en A et, dès que le mercure a découvert le tube communiquant de la jauge à la trompe, on ferme le robinet R et l'on reporte l'aspiration en A'.

M. P. Villard annonce à la Société qu'il a réussi à rendre radio-actif le bismuth ordinaire en le soumettant à l'action des rayons cathodiques dans un tube de Crookes. Le meilleur résultat s'obtient en prenant le métal comme anticathode-anode. Les régions plus particulièrement frappées par les rayons incidents sont les plus actives. On réussit encore en prenant le bismuth comme cathode ; la région de départ des rayons est alors la moins active. Enfin le bismuth pulvérisé et transporté sur les parois par le courant est également actif.

L'activité obtenue dans des expériences, ayant duré environ une heure, est très faible, notablement inférieure à celle de l'uranium. Elle est cependant suffisante pour permettre de vérifier photographiquement que les rayons du bismuth modifié traversent facilement le papier noir ou l'aluminium battu, ou les deux réunis. Cette radio-activité acquise paraît durable ; au bout d'un mois, elle n'a pas diminué d'une manière appréciable.

A propos d'une remarque faite par M. Curie, l'auteur ajoute que les expériences de M. Giesel sur la radioactivité communiquée à un métal par le mélange d'une solution de ce métal et d'une solution de radium ne lui paraissent pas comparables aux siennes. Le phénomène est, au fond, probablement le même dans les deux cas ; mais l'interprétation des résultats est singulièrement plus facile avec le tube de Crookes et peut conduire à une explication simple des phénomènes de radio-activité. Il y aurait lieu plutôt de faire un rapprochement avec la radio-activité induite découverte par M. et Mme Curie.

SÉANCE DU 16 NOVEMBRE 1900.

PRÉSIDENCE DE M. CORNU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BOULÉ (Auguste), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, à Paris.
CAPELLE (Edouard), Professeur à l'Ecole libre de Caousou, à Toulouse.
DUTOIT (Constant), Docteur ès sciences, Professeur à Lausanne (Suisse).
HOWE (Henry), Professeur de métallurgie à Columbia University, New-York City (U. S. A.).
KOUSTOVSKY (Mitrophan), Professeur au Gymnase, Mariopol, Mer d'Azow Russie.
KOUPRIANOFF (Capitaine), Académie d'artillerie Saint-Michel, à Saint-Pétersbourg (Russie).
R. P. LAFONT, Professeur de Physique au Collège Saint-François-Xavier, à Calcutta (Indes Anglaises).
LENOIR (Léon), Préparateur de Physique au Lycée de Brest.
MERCANTON (Paul-Louis), Ingénieur électricien, à Lausanne (Suisse).
MICKS (Richard), Professeur au Gymnase communal de Trieste (Autriche).
MISERY (Charles-Gustave), Ingénieur civil, à Deuil (Seine-et-Oise).
PRIEUR (Albert), Industriel, à Levallois-Perret (Seine).
RYKATCHEW (Général), Directeur de l'Observatoire de Physique Central Nicolas, à Saint-Pétersbourg (Russie).
SANTERRE, 5, quai Malaquais, à Paris.

En ouvrant la séance, M. le Président s'exprime ainsi :

« MES CHERS COLLÈGUES,

« La reprise de nos séances coïncide avec l'annonce d'une nouvelle dont je suis heureux de vous apporter la primeur : c'est l'achèvement de la publication des documents scientifiques présentés au Congrès international de Physique, réuni, sous les auspices de la Société française de Physique, du 6 au 12 août dernier, à l'occasion de l'Exposition Universelle.

« J'ai, en effet, l'honneur, au nom du Comité que vous aviez chargé d'organiser ce Congrès, d'offrir à la Société le premier exemplaire des trois volumes contenant les Rapports qui ont préparé le programme, guidé les discussions et finalement résumé les travaux du Congrès.

« C'est avec un orgueil bien légitime que votre Société accueillera cette belle publication, car elle témoigne, sous une forme bien expressive, de l'empressement avec lequel les Physiciens les plus éminents ont répondu

à l'appel de votre Comité et de la haute estime en laquelle les savants du monde entier tiennent la Société française de Physique, qui les conviait à ces grandes assises de la Philosophie Naturelle.

« Je n'ai pas besoin de vous rappeler le succès de cette réunion où plus de mille personnes s'étaient fait inscrire, car la plupart d'entre vous ont assisté à ces séances mémorables où nous avons écouté tour à tour les plus illustres physiciens de tous les pays exposer le résumé de leurs travaux avec l'autorité attachée à leur haute compétence.

« Le temps dont on disposait a malheureusement été trop court pour fournir aux discussions l'ampleur que chaque sujet méritait. Mais, grâce à la publication de ces Rapports dont chacun des membres recevra personnellement un exemplaire, le Congrès n'aura pas pris fin avec la clôture des séances : il va se prolonger pendant une durée en quelque sorte indéfinie par la lecture de ces admirables pages, où beaucoup d'entre nous découvrent des domaines qui leur étaient inconnus et où tous nous trouverons une source féconde de méditations et de recherches nouvelles.

« Cette collection de Rapports constitue, en effet, un véritable monument scientifique : c'est une Encyclopédie des questions les plus délicates de la Physique moderne, une œuvre qui fera époque dans l'histoire intellectuelle du XIXe siècle et qui assure à ce premier Congrès international, provoqué par notre Société, non seulement un souvenir durable, mais encore un rôle important dans les progrès ultérieurs de la science qui nous est chère.

« Pour mener à bonne fin une œuvre aussi considérable, il a fallu le concours d'un nombre immense de bonnes volontés, de zèles et de dévouements. La Société française de Physique a donc le devoir d'adresser à tous ceux qui l'ont aidée dans sa tâche les remerciements les plus sincères.

« En premier lieu, aux Auteurs de ces Rapports, qui sont les physiciens les plus illustres et les plus compétents sur les sujets qu'ils ont accepté de traiter à la demande de votre Comité.

« En second lieu, aux Présidents, Vice-Présidents et Secrétaires des Sections, dont la savante direction a su conduire avec un ordre parfait l'examen et la discussion des sujets si divers proposés à l'attention de nos Collègues.

« Les *Comptes Rendus* détaillés de ces séances formeront un quatrième volume actuellement sous presse : ils feront revivre à nos yeux la physionomie de ces belles séances, dont le souvenir est encore présent à notre mémoire.

« J'aimerais à vous énumérer les noms de tous les savants, français et étrangers, qui ont constitué l'état-major de ce brillant Congrès ; la liste en est longue : vous la relirez bientôt avec plaisir dans ce volume des *Comptes Rendus*. Il est cependant un nom qu'il ne nous est pas permis de passer sous silence, c'est celui de lord Kelvin, que l'Assemblée générale a, dans la séance d'ouverture, acclamé Président d'honneur du Congrès. Physicien

éminent, géomètre profond, ingénieur incomparable, lord Kelvin joint, à ses éminentes qualités scientifiques, une bienveillance et une simplicité qui lui ont gagné la sympathie universelle. L'un des premiers savants de l'Etranger, il avait accepté l'invitation de votre Comité et promis son concours personnel : il a généreusement tenu sa promesse en écrivant l'un des Rapports les plus originaux de notre collection et en le développant dansune conférence magistrale. Enfin, souvenir particulièrement doux à nos collègues français, c'est que lord Kelvin aime à redire qu'il doit beaucoup à la science française : sorti avec honneur des épreuves de l'Université de Cambridge, il était venu à Paris, simple étudiant, logé modestement dans une mansarde de la rue Monsieur-le-Prince, s'entretenir avec Liouville, Serret, Joseph Bertrand, des travaux de Laplace ou de Fourier, et leur apporter les œuvres de Green, jusqu'alors inconnu même dans son propre pays.

« Je crois être l'interprète de la Société en adressant à lord Kelvin l'expression de notre gratitude.

« Vous avez admiré avec quel ordre et quelle régularité ont fonctionné les diverses Sections de notre Congrès; ce résultat est dû à l'heureuse direction imprimée, dès le début, par votre Comité, et, pour l'exécution, au dévouement de nos deux secrétaires, MM. Lucien Poincaré et Ch.-Ed. Guillaume, dévouement qui a été au-dessus de tout éloge : témoin journalier de leur difficile labeur, je ne saurais trop recommander à votre reconnaissance, le zèle, le soin et surtout le tact avec lesquels nos deux savants collègues ont préparé, dans les moindres détails, l'organisation si complexe d'un Congrès qui se présentait sous un aspect si nouveau. Je puis donc affirmer, au risque de blesser leur modestie, que la plus grande part du succès est due à leurs efforts.

« La Société d'Encouragement, qui a bien voulu mettre gratuitement à notre disposition tout son Hôtel, pendant la durée du Congrès, a droit à nos plus sincères remerciements, je les lui adresse en votre nom.

« L'Administration de l'Exposition Universelle nous a prêté aussi le concours le plus sympathique. Nous avions d'ailleurs, auprès d'elle, l'appui de notre collègue M. le Professeur Gariel, délégué général des Congrès, physicien éminent lui-même, qui a veillé sur nos travaux avec une véritable sollicitude et nous a épargné bien des difficultés et des dépenses.

« J'ai prononcé ce mot terrible de dépenses; vous devez, en effet, vous demander comment, malgré le nombre considérable d'adhérents, malgré un gracieux don anonyme de 1.000 francs offert au début du Congrès, malgré l'habileté et le désintéressement de notre collègue M. Gauthier-Villars, nous avons pu subvenir aux frais d'impression de ces beaux volumes, d'une typographie si remarquable; à la dernière réunion du Comité, notre Trésorier prévoyait un déficit d'environ 3.000 francs pour achever l'impression du quatrième volume et payer les frais généraux du Congrès. Fallait-il ajourner une publication si intéressante ou la poursuivre jusqu'au bout. Votre Comité n'a pas hésité : il décida de recourir

à la générosité de la Société, qui avait pris l'initiative du Congrès, et avait promis d'en assumer les charges, comme elle en avait réclamé l'honneur.

« Je venais donc vous faire part de cette décision, lorsqu'en entrant en séance, un généreux anonyme, par une lettre d'une simplicité touchante, nous annonce qu'il nous adresse les 3.000 francs nécessaires pour achever nos publications.

« Vos applaudissements, mes chers Collègues, montrent combien vous êtes sensibles à cette délicate pensée, inspirée par le plus pur amour de la science.

« Quelle nouvelle preuve de la vitalité de notre Société et quel encouragement pour elle à persévérer dans la voie des hardies initiatives que le succès a toujours couronnées!

« En résumé, le Congrès international de Physique, dont votre Société avait pris l'initiative, a réussi au-delà de toute espérance.

« Inauguré dans ce merveilleux cadre de l'Exposition Universelle, le Congrès a offert à ses membres, outre les satisfactions scientifiques d'un ordre un peu austère, des distractions variées, qui ont permis de goûter un repos bien mérité. De tous côtés on a reçu l'accueil le plus empressé : des visites collectives à l'Exposition ont été organisées; les grands laboratoires parisiens ont ouvert leurs portes : à la Sorbonne, nos collègues MM. Lippmann et Bouty; au Muséum, M. Henri Becquerel, ont offert des démonstrations expérimentales du plus haut intérêt; à l'Ecole Polytechnique, c'est la vitesse de la lumière qui a fourni le sujet d'une conférence suivie de l'expérience, si rarement répétée, du miroir tournant.

« Au Palais de l'Elysée, M. le Président de la République avait gracieusement convié les membres du Congrès à une représentation artistique d'une exécution remarquable.

« Enfin la dernière soirée a eu lieu dans l'hôtel de M. le prince Roland Bonaparte, qui, avec son amabilité accoutumée, a fait les honneurs de ses salons et de son admirable bibliothèque où il avait réuni les appareils scientifiques les plus nouveaux et fait exécuter les plus curieuses expériences d'optique et d'électricité.

« Après la séance de clôture, une délégation des savants étrangers, guidée par M. le Professeur Warburg, président de la Société de Physique allemande, a eu la pieuse pensée d'aller, au nom du premier Congrès international de Physique, déposer une couronne sur la tombe de Fresnel, dont la Société française de Physique s'est constituée la gardienne. Cette touchante cérémonie s'est terminée en exprimant le vœu que, dans un petit nombre d'années, un nouveau Congrès international de Physique se réunisse avec le même empressement et la même cordialité. »

M. Guillaume remercie d'abord, au nom de M. L. Poincaré et au sien, M. le Président de la mention si aimable qu'il a faite de leur participation à la préparation du Congrès. Il tient aussi à remercier tous ceux qui les

ont aidés dans ce gros travail, notamment M. Cornu, dont les conseils leur ont été très précieux, les membres de la Commission d'organisations et aussi les physiciens érudits qui ont donné d'excellentes traductions des rapports écrits en langues étrangères.

Il donne ensuite quelques indications sur l'exécution matérielle du travail concernant les rapports. La première ébauche du programme de ces travaux fut discutée dans une réunion de la Commission, qui eut lieu le 7 décembre dernier. Les demandes adressées aussitôt à quelques physiciens de France et de l'Etranger furent si bien accueillies qu'il parut dès lors possible d'étendre le programme primitif, dans le sens d'une véritable revision des questions les plus intéressantes de la Physique.

La distribution du travail fut faite aussi rapidement que le permettait la nécessité d'attendre des réponses, venant parfois de fort loin, avant de faire de nouvelles demandes concernant des sujets formant des groupes. Pour être prête en temps utile, l'impression préliminaire des mémoires fut commencée bien avant même que le programme fût définitivement arrêté.

Le premier mémoire reçu fut celui de M. Spring, qui parvint aux Secrétaires le 28 février de cette année. Les suivants furent ceux de MM. Ames, Barus et Amagat. La nécessité de traduire les premiers en retarda l'impression, de telle sorte que les deux premiers rapports imprimés furent ceux de MM. Spring et Amagat, dont des tirages préliminaires purent être remis au Conseil de la Société dans sa réunion du 21 avril.

A partir de ce moment, le traité avec M. Gauthier-Villars ayant été approuvé par le Conseil et le côté financier garanti par la Société de Physique, les impressions furent menées avec une rapidité extraordinaire, à tel point que, malgré les difficultés des traductions et la nécessité d'une circulation des épreuves en France et à l'Etranger, les 75 feuilles prévues dans le traité étaient composées et corrigées une quinzaine de jours avant l'ouverture du Congrès. M. Gauthier-Villars avait immobilisé dans cette entreprise un nombre de caractères d'imprimerie peu inférieur à trois millions, et, malgré son matériel de premier ordre, ne disposait plus que de quelques feuilles du même caractère. On dut alors faire un choix, n'imprimer que les parties les plus importantes des mémoires qui restaient encore, de façon à pouvoir en discuter au moins les conclusions au Congrès.

La mise en pages définitive pour le tirage des volumes commença pendant le Congrès et, trois jours après sa clôture, il fut possible de donner le bon à tirer de 14 feuilles. Bien que cela dût gêner beaucoup ses impressions courantes, M. Gauthier-Villars consentit à remettre immédiatement en composition les mémoires inachevés en employant une partie des caractères libérés par le tirage. Mais les vacances avaient dispersé les auteurs, ce qui rendait la circulation des épreuves et leur correction particulièrement difficiles. Pour ne jamais être arrêté, on commença simultanément les trois volumes, avançant à mesure que le passage était dégagé. C'est pour cette raison que les trois volumes arrivent presque simultanément à chef.

M. Guillaume donne ensuite, sur l'arrangement des volumes, quelques détails complétant ceux contenus dans l'*Avertissement*. Il insiste sur le fait que, bien que constitués par des mémoires distincts, ils ne forment pas cependant un ensemble disparate, mais qu'au contraire les rapports se suivent dans un ordre logique, montrant le développement successif des diverses phases des questions traitées. Le classement n'est pas partout celui des ouvrages didactiques; il a été adopté plutôt de façon à faire ressortir des liaisons révélées par les travaux les plus récents et à faciliter les rapprochements qui semblent devoir être les plus fructueux, et que de nombreux renvois, ajoutés pendant l'impression des volumes, signalent à l'attention du lecteur.

A la suite de la communication de M. Guillaume, M. Becquerel ajoute que l'influence qu'exercera sur les progrès de la Physique l'œuvre rassemblée par MM. Guillaume et L. Poincaré paraît devoir être du même ordre que l'influence qu'exercèrent sur les progrès de l'électricité l'Exposition et le Congrès de 1881.

M. le Secrétaire général présente les notes suivantes : J. de Rey-Pailhade, *Sur la valeur de l'unité de pression, quand on adopte, pour l'unité physique de temps, la cent millième partie du jour solaire;* — Guarini, *Expérience de télégraphie sans fil avec le corps humain et les écrans métalliques;* — Guarini, *Le télégraphe sans fil avec répétiteurs; inconvénients des relais successifs.*

Présentation d'appareils. — M. Carpentier demande la parole au sujet de la présentation d'appareils étrangers organisée par le Bureau. Il rappelle qu'il a été Vice-Président de la classe 27 à l'Exposition Universelle, et, à ce titre, il pense pouvoir se dire l'interprète de tous ses confrères en déclarant que cette publicité de choix, faite par la Société à leurs concurrents étrangers, est un hommage des plus mérités et ne peut que susciter une émulation profitable à tous.

M. Abraham présente à la Société différents appareils de mesures électriques *étrangers* ayant figuré à l'Exposition Universelle.

Il adresse les remerciements du Bureau aux constructeurs étrangers :

Cambridge Company, Elliott, Hartmann und Braun, lord Kelvin, Siemens und Halske, Weston, et à leurs représentants français, pour leur concours gracieux.

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1900.

PRÉSIDENCE DE M. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 16 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BUISSON (Henri), agrégé, préparateur à l'École Normale supérieure, Paris.
MARTINEZ (R. Père), professeur de Physique au Colegio San José, à Valladolid (Espagne).
NAGAOKA (Hantaro), docteur ès sciences, professeur à l'Université de Tokio (Japon).
SPRING (Walter-Victor), membre de l'Académie Royale, professeur à l'Université de Liège (Belgique).
LA BIBLIOTHÈQUE DE L'ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE, à Paris.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale, parmi les pièces de la correspondance, le *Catalogue descriptif des instruments d'optique et de précision* de M. Ph. PELLIN. Il insiste sur l'intérêt que présentent des catalogues comme celui de M. Ph. Pellin, où sont insérées des séries de notices qui en font d'intéressants manuels de Physique pratique.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce ensuite l'envoi du Programme du Concours ouvert par la Société technique de l'Industrie du gaz en France, pour l'exercice 1900-1901. On peut se procurer la liste des prix mis au concours en s'adressant au Président de cette Société, 65, rue de Provence, Paris.

Voltmètre et ampèremètre à champ magnétique réglable, de M. MENGES. — M. PELLAT présente, au nom de M. MENGES, de la Haye, un galvanomètre genre Deprez-d'Arsonval, qu'on peut disposer soit en ampèremètre, soit en voltmètre, dont le champ magnétique est réglable.

Pour cela, le système mobile tournant autour d'un axe horizontal, l'ensemble des deux armatures de fer doux, rendues solidaires par des joues en cuivre, peut aussi osciller d'une très petite quantité autour d'un axe horizontal, qui est loin de passer par le centre de gravité; de cette façon l'ensemble des armatures penche légèrement d'un côté, sous l'action de la pesanteur, si l'aimant placé horizontalement au dessus n'a pas la force de le soulever. Or, au-dessus des pôles de l'aimant se trouve placée une dérivation magnétique formée par une pièce de fer doux qui, par une vis, peut s'approcher ou s'écarter plus ou moins des pôles. On conçoit qu'en réglant la position de cette pièce de fer doux on puisse arriver à faire que l'ensemble des armatures de fer soit juste à la limite où son poids est

équilibré par l'attraction de l'aimant. A ce moment, quelle que soit l'intensité d'aimantation de celui-ci, l'induction magnétique qui traverse les armatures de fer est toujours la même, car la force soulevante ne dépend que de l'induction; il en est donc de même de l'intensité du champ dans l'entrefer.

Quoique l'auteur se propose de perfectionner notablement dans les détails cet instrument, tel qu'il est, on obtient, à moins de 1 0/0 près, le même champ avec des aimants dont l'intensité d'aimantation varie de 30 0/0.

La constante de la gravitation universelle et les irrégularités locales de la pesanteur. — Expériences de MM. Boys, Eötövs Poynting, Richarz *et* Krigar-Menzel, von Sterneck, Threlfall *et* Pollock; par M. Brillouin. — M. Brillouin rappelle les différentes déterminations de la constante de la gravitation. Faute de temps, il doit laisser de côté les méthodes de torsion et renvoie, sur ce point, au rapport magistral présenté par M. Boys au Congrès international de Physique. En décrivant les méthodes de mesures, M. Brillouin projette des photographies originales et des figures explicatives qui lui ont été obligeamment communiquées par MM. Richarz et Krigar-Menzel, d'une part, et par M. Poynting, d'autre part. M. Brillouin montre que la mesure de la constante de la gravitation et l'étude de la forme des surfaces équipotentielles du champ d'attraction terrestre, dont il veut surtout parler, sont deux questions intimement liées. Des expériences, comme celles de Joly ou celles de MM. Richarz et Krigar-Menzel, avec des pesées faites à différentes hauteurs, donnent la variation de g le long de la verticale. L'étude du gradient horizontal des valeurs de g, c'est-à-dire des dérivées secondes du potentiel newtonien a été entreprise avec une grande hardiesse et un plein succès par M. Eötvös au moyen d'un appareil des plus simples, qui a figuré à l'Exposition Universelle. M. Brillouin présente à la Société l'appareil même de M. Eötvös. Il termine sa communication en indiquant les résultats déjà obtenus avec cet instrument et les rapproche de ceux fournis par les expériences de MM. Threlfall et Pollock au moyen d'un appareil robuste et transportable où la pesanteur est équilibrée par la torsion d'un fil de quartz. Le résultat, déjà très intéressant, de toutes ces mesures, est que les variations de g sont très mesurables, même en des espaces très restreints, inférieurs à 1 mètre. Elles se trouvent être incomparablement supérieures aux variations dues à l'ellipticité générale de la terre.

Transformateur à haut voltage et à survolteur cathodique. — M. P. Villard présente un transformateur construit par la maison Carpentier et donnant 50.000 volts efficaces pour 110 volts primaires (circuit magnétique fermé). Le circuit secondaire est coupé par deux condensateurs faisant corps avec l'appareil et limitant le débit, ce qui permet de mettre les bornes de l'appareil en court-circuit sans inconvénient et écarte tout danger. Les bornes sont reliées par une *soupape cathodique*, qui absorbe

l'une des alternances, ne laissant subsister qu'une différence de potentie à peu près égale à celle que donne le courant inverse d'une bobine de Ruhmkorff. L'autre alternance, pour laquelle la soupape est infranchissable, est utilisée sous forme d'étincelle ou autrement.

Ce dispositif présente la particularité remarquable de survolter l'alternance disponible. En l'absence de la soupape, les étincelles ne dépassent pas 9 à 10 centimètres entre boules, sauf accidentellement, à l'instant du démarrage. Avec la soupape, l'étincelle qui subsiste atteint, pour une capacité convenable des condensateurs, 18 centimètres entre boules et 24 centimètres entre pointes.

En disposant deux groupes de condensateurs en dérivation sur le secondaire, on peut alimenter séparément deux appareils indépendants et avoir ainsi deux sources électriques distinctes de puissances égales ou différentes, en concordance ou en opposition de phase suivant le sens des soupapes ou encore alternatives.

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1900.

PRÉSIDENCE DE M. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BARTH (Johann-Ambrosius), Libraire, à Leipzig (Allemagne).
BECQUEREL (Jean), Elève-Ingénieur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
BLOCH (Eugène), Agrégé Préparateur de physique au Collège de France.
CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).
JOLY (Louis), Ancien Élève de l'Ecole Polytechnique, à Vincennes (Seine).
LEMOINE (Constant), Professeur au Lycée de Cherbourg (Manche).
PIROT (l'Abbé), Professeur à l'Institution Sainte-Marie à Bourges (Cher).

Sont nommés membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'exercice 1899-1900 :

MM. GAY, GIRARDET et VIEILLE.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi d'une note de M. A. DE GRAMONT, intitulée : *Contribution à l'étude de la réfraction et de la dispersion.*

Dans cette note, M. A. de Gramont résume les propriétés des courbes de déviation qu'il obtient en mesurant sur un cercle-goniomètre l'incidence, portée en ordonnée, d'un rayon entrant dans le prisme, et les déviations correspondantes, portées en abscisses, des diverses radiations à la sortie de celui-ci, chaque indice donnant une courbe distincte.

1° Le point de chaque courbe correspondant au minimums de déviation est situé sur une droite commune à toutes ces courbes;

2° Cette *droite des minima* fait avec l'axe des abscisses-déviations un angle dont la tangente $= 1/2$.

3° Elle rencontre cet axe en un point dont l'abscisse A est égale à l'angle réfringent du prisme;

4° L'ordonnée correspondant à une déviation D coupera chaque courbe en deux points dont les ordonnées respectives représenteront les valeurs interchangeables de l'incidence e et de l'émergence e'. Les points milieux des cordes ainsi déterminées sont sur la droite des minima qui est, pour chaque courbe, le diamètre conjugué de la direction de l'axe des incidences.

5° L'incidence rasante $e = 90°$ donne pour chaque courbe une émergence limite atteignant la réflexion totale. On obtient ainsi des déviations maxima données à la fois pour l'incidence rasante par toutes les radiations, et, d'autre part, pour chacune d'entre elles séparément par son incidence limite, qui correspond à l'émergence rasante. Ces points d'incidence ou d'émergence limite seront situés, pour toutes les courbes, sur une droite à 45°, dite *droite des limites*, qui rencontre la droite des minima sur une parallèle à l'axe des X, menée par l'ordonnée 90° (incidence rasante).

Le mémoire présenté étudie d'autres propriétés de ces courbes, ainsi que les effets de la variation soit de l'indice, soit de l'angle du prisme.

Sur la convection électrique et les expériences de M. Rowland; par V. Crémieu. — D'après la théorie de Maxwell, une surface plane, de largeur l, de longueur ds, se déplaçant dans son propre plan et dans le sens de ds avec une vitesse v, équivaudra, si elle est chargée électriquement à une densité superficielle σ, à un élément de courant de même longueur ds, occupant à chaque instant la même position, et dont l'intensité i serait telle que :

$$ids = \sigma vlds.$$

Cette surface constituera un élément de *courant de convection* devant produire tous les effets magnétiques de l'élément de courant de conduction.

La réciproque de l'effet magnétique de la convection électrique serait une force pondéromotrice d'induction f agissant sur un corps portant une charge μ et placée à distance r de l'axe d'un solénoïde électromagné-

tique, dans lequel se produirait une variation de flux $\frac{d\varphi}{dt}$. On aurait

$$f = \frac{\mu}{2\pi r} \frac{d\varphi}{dt}.$$

M. Rowland et quelques autres expérimentateurs ayant cru vérifier l'existence de l'effet magnétique de la convection électrique, j'avais cherché à vérifier l'existence de l'effet inverse.

J'ai exposé précédemment, à la Société de Physique, comment j'étais arrivé à trouver que cet effet n'existait pas, et ensuite que l'effet magnétique de la convection elle-même n'existait pas non plus.

La méthode employée dans ce second cas différait sensiblement de celle de M. Rowland.

J'ai fait une nouvelle série d'expériences avec un appareil basé sur un principe identique à celui de Rowland. Mais j'ai cependant réalisé des courants de convection beaucoup plus intenses.

J'ai pu ainsi constater les faits suivants :

Un disque d'ébonite, doré suivant des secteurs isolés, chargé à une densité surperficielle électrostatique de 2 à 5 C. G. S., tournant entre des plateaux fixes diélectriques recouverts de secteurs d'étain isolés les uns des autres et séparément reliés au sol, produit, sur une aiguille aimantée, placée parallèlement à son plan, des déviations dans le sens prévu pour la convection électrique.

Mais ces déviations sont beaucoup plus faibles que celles calculées et ne suivent pas les lois qui feraient varier l'intensité des effets de la convection.

De plus, elles disparaissent dès qu'on interpose, entre l'aiguille aimantée et le système disque-armatures fixes, une plaque conductrice. Elles diminuent ou disparaissent suivant que l'aiguille aimantée se trouve en face du milieu d'un secteur fixe ou en face d'une séparation entre deux secteurs.

Elles disparaissent aussi si les secteurs fixes sont reliés au sol par plusieurs points symétriques par rapport à la position de l'aiguille aimantée.

Enfin elles disparaissent encore, si les secteurs d'étain sont remplacés par une couche de graphite assez conductrice pour se charger, mais trop résistante pour que des courants d'induction un peu intenses puissent y prendre naissance.

Les déviations observées ne sont donc certainement pas dues à la convection électrique. Elles proviennent d'un phénomène de conduction qui se produit dans les secteurs fixes.

L'étude de ces effets sera continuée.

Mais ces nouvelles expériences confirment les précédentes en ce qui concerne la non-existence de l'effet magnétique de la convection.

Toutefois, le rôle des armatures fixes, interposées entre le disque tournant et l'aiguille aimantée, ne paraissant pas très net, j'ai entrepris une

dernière expérience dans laquelle l'aiguille sera au voisinage direct du disque, sans interposition d'autres écrans que des enveloppes diélectriques indispensables pour supprimer l'effet des mouvements de l'air.

La métallurgie à base d'aluminium : l'alumino-thermie ; par M. Matignon. — Hans Goldschmidt a désigné, sous le nom d'alumino-thermie, l'application de l'aluminium à la réduction des oxydes, soit en vue de l'obtention des métaux et de leurs alliages, soit en vue de l'utilisation de la chaleur réalisée dans cette réduction.

L'aluminium réduit tous les oxydes, sauf la magnésie, en mettant le métal en liberté :

$$3MO + Al^2 = Al^2O^3 + 3M.$$

Dans la plupart des cas, la réaction une fois provoquée en un point du mélange, se propage d'elle-même dans toute la masse ; par suite de la chaleur dégagée, l'alumine et le métal fondent tous deux et se séparent suivant l'ordre de leur densité ; après le refroidissement, on trouve, dans le creuset où s'est effectuée la réduction, un culot métallique recouvert par la scorie d'alumine fondue. On amorce la réaction, en déposant à la surface du mélange quelques grammes de bioxyde de baryum mêlés avec un peu de poudre d'aluminium et enflammés par l'intermédiaire d'un fil de magnésium.

L'aluminium est mêlé à l'oxyde en poudre sous la forme des grains obtenus par un procédé spécial.

En opérant avec un mélange d'oxydes, on obtient l'alliage correspondant.

La chaleur énorme dégagée dans ces réactions a fait utiliser le mélange oxyde de fer et aluminium pour la soudure économique des rails de tramways, des tubes de fer, de cuivre, etc.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1900.

Actes de la Société scientifique du Chili. — T. X, 1900; 1 vol. in-8°.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1900. Publié par M. Firmin Leclerc; 1 vol. in-18.

American Journal of Science. — 4e série, 2 vol. XLIV et XLV, 1900; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Thomas Craig with the cooperation of Simon Newcomb. — Published under the auspices of the Johns Hopkins University. — Vol. XXI, 1899, et vol. XXII, 1900.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band I à III, 1900; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. XIX à XXI, 1900; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. IX, année 1899; 1 vol. in-4°.

Annales de l'Observatoire national d'Athènes. — Publiées par Démétrius Eginitis, t. II, Athènes, Imp. Nationale, 1898, 1 vol. in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès, t. XIV, année 1898; 1 vol. in-4°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXIV, septembre à décembre 1898, et t. XXV, 1899; in-8°.

Annales de l'Observatoire magnétique de Copenhague. — Publiées par Adam Paulsen, années 1895-1896; 1 fasc. in-4°.

Annales scientifiques de l'Université de Jassy. — T. I, 1er fasc., septembre 1900; in-8°.

Annuaire pour l'an 1900 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XXXVII et XXXVIII. 1899 et 1900; 2 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, année 1900; in-8°.

Astrophysical Journal, an International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics (Chicago). — Année 1900, vol. XI et XII, n°s 1, 2, 3 et 4; in-8°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXIII, 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin scientifique trimestriel. — Publié par l'Association amicale des Élèves et anciens Élèves de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. N°s 1 à 4, 1900; in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XVII, année 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XXIII, année 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des électriciens. — Année 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XIII, 4e série, 1900; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXVI, année 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. XI, années 1899-1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1900; 1 vol. in-8°.

Bulletin météorologique de l'Observatoire astronomique et météorologique de Belgrade (Serbie). — Publié par G.-M. Stanoïéwitch. — 2 fasc., janvier, juin et juillet 1900; in-4°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXX et CXXXI, 1900; 2 vol. in-4°.

Electrician (The). — Vol. XLIV et XLV, 1899-1900; 2 vol. in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. X; année 1900; in-8°.

Institut météorologique de Danemark. Annuaire météorologique pour l'année 1897. — 1re et 2e partie; 1 vol. in-4°.

Énergie électrique (L'). — Journal universel d'Électricité. N°s 131 et 150, année 1900.

Fortschritte der Physik im Jahre 1898, II et III; **1899**, I, II et III, et **1900**, II. — Braunschweig, Friedrich Wieweg und Sohn, 1899; 6 vol. in-4°.

Guide-Annuaire général des industries, gaz, eau, électricité. — 4e année, Paris, Dubuisson, 1900; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, théorique et appliquée. — Fondé par J.-Ch. d'Almeida et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier, 3e série, 29e année, t. IX, 1900; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet, 13e année, 1900; 1 vol. in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CXLIX et CXLX, 1900; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXXII, 1900; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXIX, nos **142** à 146, 1900; 1 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. IV, nos 1 à 8, année 1900; in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales. — Edited by the Honorary Secretaries, vol. XXXIII, 1899; 1 vol. in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. — Année 1900; in-8°.

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of the section of Science, vol. II. **Proceedings of the Meeting**, vol. III, **of May 27, 1899, 21 April, 26 May, September 29** et **27 October 1900**; 4 fasc. in-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. IV, 1899, Besançon, Dodivers et Cie; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. XLIII et XLIV, années 1898-1899 et 1899-1900; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 52e année, année 1900; 1 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico). — T. XIII, 1900; 1 vol. in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XIX, 1900; 1 vol. in-8°.

Mois scientifique et industriel (**Le**). — Revue internationale d'informations, 2e année, 1900; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXVII, année 1900; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — Année 1900; 1 vol. in-4°.

Nuovo Cimento (**Il**). — 4e série, vol. XI et XII, année 1900; 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Fifth series, vol. XLIX et L, 1900; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. X et XI, 1900; 2 vol. in-8°.

Mémorial des poudres et salpêtres, publié par les soins du service des poudres et salpêtres avec l'approbation du Ministre de la Guerre. — T. X, 1er et 2e fasc., Paris, Gauthier-Villars, 1899-1900; 1 vol. in-8°.

Nineteenth Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the interior, 1897-98. Part. II; 1 vol. in-4°, et 1898-99. Part. VI, 2 vol. in-4°, Washington, 1899.

Nautical-Meteorological Annual 1900, published by the Danish Meteorological Institute. — Köjbenhavn, G. E. C. Gad, 1900; 1 vol. in-4°.

Popular Astronomy. — Vol. III, nos 9 et 10; année 1900; 2 fasc. in-8°. Goodsell Observatory of Carleton College Northfield, Minnesota.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. — Vol. X, 1898-99; Part. I et II, 1899-1900; 1 vol. in-8°.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XVII, 1900; 1 vol. in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science.— Vol. XXXV, 1900; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XXXIX, nos 161, 163 et 164.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LXV, LXVI et LXVII, in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.— Vol. XXII, sessions 1897-1898-1899; in-8°.

Publications of the Lick observatory of the University of California. Printed by authority of the Regents of the University.— Vol. IV, 1900. A.-J. Johnston, 1900; 1 vol. in-4°.

Report of the Superintendent of the U. S. Coast and Geodetic Survey showing the progress of the Work during the fiscal year ending with June 1897. — Washington, Government Printing office, 1898; 1 vol. in-4°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 11e année, 1900; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (La). — Année 1900; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles, année 1900; 1 vol. in-8°.

Revue de Physique et de Chimie et de leurs applications industrielles. — Publiée sous la direction scientifique de M. Schützenberger, année 1900, 1 vol. in-8°.

Royal Institution of Great Britain, Weekly evening meeting.

Rozprawy Akademii Umiejętności. — Waziad Matematyczno-Przyrodniczy (Académie des Sciences de Cracovie). — Serya 2. t. XV (35), t. XVI (36) et t. XVII (37); 3 vol. in-4°.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. — Vol. II, 2e série, part. I à VII; in-4°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society.

Science abstracts, Physics and electrical engineering. — Vol. III, année 1900; in-8°.

Technology quarterley and Proceedings of the Society of Arts.— Vol. XIII, 1900; 1 vol. in-8°.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XXXIX, Part: II, III et IV, 1897-1898; in-4°.

Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters. — Vol. XII, part. I, 1898. Edited by the Secretary, Madison, Democrat Printing Company, State Printer, 1898; 1 vol. in-8°.

United States Coast and Geodetic Survey. *U. S. A.* — Bulletins in-4°.

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.— Jahrg. 1900; 1 vol. in-8°.

Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. — Band III. Berlin, Julius Springer, 1900; 1 vol. in-4°.

Yerkes Observatory of the University of Chicago. — Bulletins in-8°.

Atmospheric radiation, a research conducted at the Allegheny Observatory and at Providence. R. I. (U. S. Department of Agriculture, Weather Bureau.) Washington, 1900; 1 fasc. in-4°.

Bashforth (Francis), B.-D.— A second supplement to a revised account of the experiments made with the Bashforth chronograph to find the resistance of the air to the motion of projectiles with the application of the results to the calculation of trajectories.— Cambridge, University, 1900; 1 fasc. in-8°.

Catalogue du Musée centennal d'électricité. France, 1900 (Exposition universelle), Paris; 1 fasc. in-8°.

Chappuis (P.) et **Harker (J.-A.)**. — Comparaison du thermomètre à résistance de platine avec le thermomètre à gaz et détermination du point d'ébullition du soufre. Relation des expériences effectuées au Bureau international des Poids et Mesures à Sèvres. (Extrait du tome XII des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*). 1 fasc. in-4.

Codigo de Sanidad de la Republica de el Salvador, 1900; 1 fasc. in-8°.

Colson (**R.**). — Traité élémentaire d'électricité avec les principales applications. Paris, Gauthier-Villars, 1900; 1 vol. in-8°.

Congrès des Sociétés savantes. Discours prononcé à la Séance générale du Congrès, le samedi 9 juin 1900, par M. A. Aulard. Paris, Imp. Nationale, 1900; 1 fasc. in-8°.

Cornu (**A.**). — Sur la loi de rotation du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat (Extr. *Bulletin astronomique*, février 1900); 1 fasc. in-8°.

Cotton (**A.**). — Le phénomène de Zeeman. (*Scientia*, n° 5.) G. Carré et C. Naud. Paris, 1899; 1 fasc. in-8°.

Dewey (**Melvil M. A.**). — Decimal classification and Relativ Index for libraries, Clipping notes, etc.; Boston, Library Bureau, 1891; 1 vol. in-8°.

Dufour (**Henri**). — Observations sur la diffusion des rayons X. (Extr. *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 4e période, t. VIII, décembre 1899.) 1 fasc. in-8°.

Dujardin (**J.**). — Recherches rétrospectives sur l'art de la distillation. Historique de l'alcool, de l'alambic et de l'alcoométrie; chez l'auteur, 24, rue Pavée, Paris; 1900. 1 vol. in-8°.

Estrada (**Francisco I.**). — Nouvelle étude proposée. Les boussoles réformées. — Balance géologique électromagnétique. Mexico, E. Dublau, 1900; 1 fasc. in-8°.

— Electro-magnetic geological balance, a new study proposed to science. Mexico, 1900; 1 fasc. in-8°.

Exposition universelle de 1900. — Classe 87. — Rappel des travaux du comte Henri de Ruolz. — Exposition réunie par les soins de la Csse de Chardonnet, née Ruolz. — Catalogue descriptif. Paris, Chaix, 1900; 1 fasc. in-8°.

Figuier (**A.**). — Étude sur la purification du mercure; 1 fasc. in-8°.

— Appareil pour la préparation de l'acétylène par la combustion du gaz d'éclairage; 1 fasc. in-8°.

— Ozoniseur à armatures formées par des poudres métalliques obtenues chimiquement; 1 fasc. in-8°.

— Régulateur de température-étuve; 1 fasc. in-8°.

Fleury (**Émile**). — Guide annuaire général des industries: Gaz, Eau, Électricité. Paris, impr. des Arts et Manufactures, 1900; 1 vol. in-8°.

Forel (**F.-A.**) et **Sarasin** (**Ed.**). — Les oscillations des lacs. (Rapport présenté au Congrès international de Physique, réuni à Paris, en 1900, sous les auspices de la Société française de Physique.) Paris, Gauthier-Villars, 1900. 1 fasc. in-8°.

Foveau de Courmelles. — Osmose et bi-électrolyse. (Extr. des *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des Sciences.* — Congrès de Boulogne-sur-Mer, 1899.) Paris, Secrétariat de l'Association; 1 fasc. in-8°.

— De l'action thérapeutique de la lumière. (Extr. *Sociedad de medicina e cirurgia.*) Rio de Janeiro, Besnard frères, 1900; 1 fasc. in-8°.

— L'électricité et ses applications. Paris, Schleicher, 1900; 1 vol. in-8°.

Gramont (A. de). — Analyse spectrale des minéraux non conducteurs par les sels fondus. (Extr. *Bulletin de la Soc. minéralogique*, 1898); 1 fasc. in-8°.

— Sur les spectres de sélénium et de quelques séléniures naturels (Extr. des *C. R.*, 8 avril 1895); 1 fasc. in-4°.

— Sur le spectre de ligne du soufre et sur sa recherche dans les composés métalliques (Extr. des *C. R.*, 2 juillet 1894); 1 fasc. in-4°.

— Spectres des métalloïdes dans les sels fondus : silicium (Extr. des *C. R.*, 25 juillet 1897); 1 fasc. in-4°.

— Observations sur quelques spectres : aluminium, tellure, sélénium (Extr. des *C. R.*, 28 novembre 1898); 1 fasc. in-4°.

— Sur un spectroscope de laboratoire à dispersion et à échelle réglable (Extr. des *C. R.*, 26 juin 1899); 1 fasc. in-4°.

— Sur quelques conséquences des formules du prisme (Extr. des *C. R.*, 12 février 1900); 1 fasc. in-4°.

Guarini (Émile). — Expériences de télégraphie sans fil avec le corps humain et les écrans métalliques. (Note manuscrite.)

— Sur l'emploi du répétiteur Guarini dans la télégraphie sans fil. (Note manuscrite.)

— Le télégraphe sans fil avec répétition; inconvénients des relais successifs. (Note manuscrite.)

Hagenbach (Eduard). — Der elektromagnetische Rotationsversuch und die unipolare Induktion. Basel, Fr. Reinhardt, 1900; 1 fasc. in-4°.

Heen (P. de). — Analyse de l'aigrette émise par divers producteurs d'électricité. Fasc. in-8°.

— Note relative à la décharge des conducteurs produite par le voisinage d'une source de chaleur. Fasc. in-8°.

— Décharge des conducteurs produite par l'air infra-électrisé. Fasc. in-8°.

— Note sur le mécanisme de la décharge électrique d'un conducteur, produite par les radiations infra-électriques en général. Fasc. in-8°.

— Quelques observations sur les radiations infra-électriques et sur l'expérience de M. E. Villari. Fasc. in-8°.

Heen (**P. de**). — Quelques faits relatifs à la décharge produite par la radiation infra-électrique. (Ces six notes sont extraites du *Bulletin de l'Institut de Physique de l'Université de Liége,* 7e fasc. 1898. Br. in-8°.)

Hesehus (**N.-A.**). — Ueber die Analogieen zwischen den elecktrischen und Wärme-Vorgängen (Extr. *Zeitschrift für den phys. und chemischen Unterricht.* Juli, 1898); 1 fasc. in-8°.

Honoré (**C.**). — Le Soleil intérieur. — Communication scientifique. Montévidéo, République orientale de l'Uruguay, 1900; 1 fasc. in-8°.

Hurst (**S.**) et **Mc Kay** (**John**). — Experiments of Time relations of Poetical metres (Extr. *University of Toronto Studies*, 1899); 1 fasc. in-8°.

Institut solaire international. — Éclipses du Soleil intérieur. — Communication scientifique. — Montevideo, République orientale de l'Uruguay, 1900; 1 fasc. in-4°.

Institut international de Bibliographie. — Publication n° 26 : Manuel pour l'usage du Répertoire bibliographique des Sciences physiques, établi d'après la classification décimale (025,4 : 53). Table de classification bibliographique. — Règle pour la rédaction des notices bibliographiques. — Règles pour la publication des recueils bibliographiques et la formation des répertoires de fiches. — Édition française publiée avec le concours du Bureau bibliographique de Paris et de la Société française de Physique. — Bruxelles, au siège de l'Institut, 1, rue du Musée, 1899; 1 vol. in-8°.

Janet (**P.**). — Leçons d'Électrotechnique générale professées à l'École supérieure d'Électricité. Paris, Gauthier-Villars, 1900; 1 vol. grand in-8°.

Kerntler (**Franz**). — Die Unität des absoluten Maass-Systems in Bezug auf magnetische und elektrische Grössen. Budapest, 1899; 1 fasc. in-8°.

Kœnig (**Rudolph**). — Ueber die höchsten hörbaren und unhörbaren Töne von $c^5 = 4096$ Schwingungen ($ut_7 = 8102$ v. s.), bis über f^9 (fa_{11}). zu 90000 Schwingungen (180000 v. s.), nebst Bemerkungen über die Stosstöne ihrer Intervalle, und die durch sie erzeugten Kundt'schen Staubfiguren (Extr. *Ann. der Phys. und Chimie*, Bd LXIX, 1899); 1 fasc. in-8°.

Lallemand (**Ch.**). — Rapport sur les travaux du service de nivellement général de la France en 1897 et 1898. — Neuchâtel, Attinger, 1899; 1 fasc. in-4°.

Lefebvre. — Étude d'un système de deux miroirs sphériques (Extr. *Nouvelles Annales mathématiques,* 3e série, t. XVIII, novembre 1899); 1 fasc. in-8°.

Lussana (**S.**). — Influenza della pressione sulla resistenza elettrica dei metalli (Extr. *Nuovo Cimento,* 4e série, vol. X, Agosto 1899); 1 fasc. in-8°.

— Alessandro Volta e la pila nel secolo decimo novo, discorso letto nella Accademia il 29 giugno 1899 (Extr. *Atti della R. Accademia dei Fisiocritici,* 4e série, vol. XI); 1 fasc. in-8°.

Maurain (**Ch.**). — Sur les cicatrisations des cristaux et l'influence du milieu sur leur mode de formation; 1 fasc. in-8°.

Mémoires originaux sur la circulation générale de l'atmosphère. — Halley, Hadley, Maury, Ferrel, W. Siemens, Moller, Oberbeck, von Helmholtz, annotés et commentés par Marcel Brillouin. Paris, Carré et Naud, 1900; 1 vol. in-8°.

Memoirs presented to the Cambridge Philosophical Society on the occasion of the Jubilee of Sir Georges Gabriel Stokes, Bart. Hon. L. L. D., Hon. SC. D. Lucasian Professor. — Cambridge, at the University Press, 1900; 1 vol. in-4°.

Mersanne (**E. de**). — Hypothèse de l'Énergie matière. (Manuscrit.)

Meslin (**G.**). — Étude sur la détermination des petites épaisseurs et sur la sensibilité de l'œil pour les différentes radiations du spectre (Extr. *Mémoire de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier,* 2e série, t. II, 1899); 1 fasc. in-8°.

— Sur les images de la chromosphère et des protubérances, obtenues à l'aide de la chambre prismatique (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, juillet 1900); 1 fasc. in-4°.

Metz (**G. de**). — Les laboratoires de Physique et les ateliers de construction d'appareils de Physique à l'Étranger. Kiëf, 1900; 1 fasc. in-8°.

— L'électrocapacité du corps humain et son rôle dans le circuit alternatif. (En russe.) Kief, 1899; 1 fasc. in-8°.

Moreau. — Sur les phénomènes thermo-magnétiques (Extr. *Bulletin de la Société scientifique médicale de l'Ouest*, 9e année, t. IX, n° 2; 1 opusc. in-8°.

Mourgues (**L.-E.**). — El aqua de Penuelas como fuerza motriz y su Esterilization por el ozono. Universo, Valparaiso, 1900; 1 fasc. in-8°.

Paleologos C. Candargy. — Communication universelle à Messieurs les savants de notre planète. Athènes, Anestis Constandidinis, 1899; 1 fasc. in 8°.

Pellat (**H.**). — Complément au Mémoire ayant pour titre : Polarisation réelle des diélectriques. Conséquences de cette polarisation (Extr. des *Ann. de Chimie et de Phys.,* 7e série, t. XVIII, décembre 1899); 1 fasc. in-8°.

— Contribution à l'étude des stratifications (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 5 février 1900); 1 fasc. in-4°.

Pellin (**Ph**). — Catalogue descriptif des instruments d'optique et de précision. Paris, chez l'auteur, 21, rue de l'Odéon, 1900; 1 vol. in-8°.

Peschard (**Albert**). — Appareil de démonstration pour l'étude de l'application de l'électricité aux orgues. Paris, Larousse, 1900; 1 fasc. in-8°.

Rapports présentés au Congrès de Physique, réuni à Paris sous les auspices de la Société française de Physique, rassemblés et publiés par MM. Ch.-Ed. Guillaume et L. Poincaré. Paris, Gauthier-Villars, 1900; 3 vol. in-8°.

Rey-Pailhade (**J. de**). — Sur la valeur de l'unité de pression, quand on adopte, pour l'unité physique de temps, la cent-millième partie du jour solaire moyen. (Note manuscrite.)

— Table à quatre décimales des logarithmes de toutes les lignes trigonométriques dans la division décimale du cercle entier. Paris, A. Hermann, 1900; 1 fasc. in-8°.

Rogers. — The secrets of the sun and starry Universe. Buffalo City, Press-Printing House, 1900; 1 fasc. in-8°.

Schaffers (**V.**), S. J. — Les plaques sensibles au champ électrostatique. Paris, Hermann, 1900; 1 fasc. in-8°.

Sissingh (**R.**). — Propriétés générales des images formées par des rayons centraux traversant une série de surfaces centrées. Amsterdam, Johannes Müller, 1900; 1 fasc. in-8°.

Spring (**W.**). — Sur la floculation des milieux troubles. Bruxelles, Hayez, 1900; 1 fasc. in-8°.

Shaw (**A.**) et **Wrinch** (**F.-S.**). — A contribution to the psychology of Time (Extr. *University of Toronto Studies*, 1899); 1 fasc. in-8°.

Somzée (**Léon** et **Côme de**). — Les précurseurs de Nernst (Extr. l'*Electricien*, 1900); 1 fasc. in-8°.

The John Crear Library first annual Report, for the year 1895-1898. Chicago; Printed by order of the Board of Directors, 1897-1899; 3 fasc. in-8°.

Thomson (**J.-J.**). — Les décharges électriques dans les gaz. Ouvrage traduit de l'anglais, avec notes, par M. Louis Barbillion. Préface de M. Ch.-Ed. Guillaume. Paris, Gauthier-Villars, 1900, 1 vol. in-8°.

Trouvé (**G.**). — Exposition universelle de 1900. Comment, d'exposant enthousiaste, on arrive à ne plus exposer. — Pièces justificatives, projets et mémoires à l'appui. Paris, Vve Albouy, 1900; 1 fasc. in-8°.

Turpain (**A.**). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques. Paris, A. Hermann, 1899; 1 fasc. in-8°.

Udden (**Johan-August**). — An Old Indian Village. (Augustana Library Publications, Number 2.) Rock Island, Ill. Lutheran Augustana Book Concern Printers, 1900; 1 fasc. in-4°.

Wallon (**E.**). — Leçons d'Optique géométrique à l'usage des élèves de mathématiques spéciales. Paris, Gauthier-Villars, 1900; 1 vol. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1901.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, PARIS (6e).

(1901.)

BUREAU.

MM. PELLAT (H.), *Président.*
POINCARÉ (H.), *Vice-Président.*
ABRAHAM (H.), *Secrétaire général.*
SAGNAC (G.), *Secrétaire.*
DONGIER (R.), *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. BROCA (A.).	1899.	MM. BERGONIÉ (Bordeaux).	1899.
DESLANDRES (H.).		FABRY (Marseille),	
JANET (P.).		LECHER (Prague).	
ROMILLY (P. DE).		LUSSANA (Sienne).	
LAURIOL (P.).	1900.	BJERKNES (Stockholm).	1900.
TEISSERENC DE BORT.		BOUASSE (Toulouse).	
POINCARÉ (H.)		COPPET (DE) (Lausanne).	
WEISS (G.).		WEISS (P.) (Lyon).	
BERTHELOT (D.).	1901.	RYKATCHEW (Saint-Pétersbourg).	1901.
BOURGEOIS (R.).		CHARPENTIER (Nancy).	
HALLER (A.).		DU BOIS (Berlin).	
LEMOINE (G.).		HOULLEVIGUE (Caen).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.
1892.		VIOLLE.
1893.		LIPPMANN.
1894.		JOUBERT.
1895.		CAILLETET.
1896.		BOUTY.
1897.		BECQUEREL (H).
1898.		BENOIT (R.)
1899.		BASSOT.
1900.		CORNU.

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général honoraire* (1899-1900).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **STOKES** (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

BELL (**Alex. Graham**), de Washington (États-Unis).

BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie Française.

JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.

CORNU (**M.-A.**), Membre de l'Institut.

MASCART (**E.-E.-N.**), Membre de l'Institut.

DONATEURS (2).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (**Baron d'EICHTHAL**)	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000

---

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.
	Fizeau.	1873-96.
	Bertrand.	1890-1900.
	Rowland.	1893-1901.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supé-

		fr.
MM.	**GUEBHARD**, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)	10000
	ANONYME (pour aider à la publication du volume des *Constantes*)	5000
	JENNESSON, Principal de Collège (Legs)	500
	ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)	5547,50
	BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut	1500
	SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.	
	JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême	500
	ROTHSCHILD (**Baron Edmond de**)	300
	CANET	300
	MARTIN (**Ch.**), de Chartres (Legs)	1000
	ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*)	11000
	ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*)	9600
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*)	850,25
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*)	734,25
	COPPET (**de**) (pour la publication des *Données numériques*)	1000
	ANONYME (pour aider à la publication du tome III des *Données numériques*)	6000
	ANONYME (pour aider à la publications des Mémoires).	5000

MEMBRES A VIE (1).

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.

Abraham (Henri), Maître de Conférences à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5e.

* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.

---

rieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'Etat, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

* Membres décédés.

MM. * Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique.

Amagat, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

Arnoux (René), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome. Paris, 8e.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf. Paris, 10e.

Baume-Pluvinel (comte de la), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

Bandsept (Albert), Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

Bardy (Charles), Directeur honoraire du service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

* Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Becquerel (Jean), élève Ingénieur à l'École des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Benoit (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon (Var).

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

Bjerknes (Wilhelm), chargé du Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Bloch (Eugène), Agrégé, Préparateur de physique au Collège de France. Paris, 5e.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais. Paris, 7e.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM. Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).
Bordé (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris. 9e.
Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.
Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV. Paris, 4e.
Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.
Branly (E.), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.
* Breguet (Antoine), Ancien élève de l'École Polytechnique.
Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.
Brillouin, Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.
* Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis.
* Brisse (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.
Broca (Dr André), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau. Paris, 7e.
Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.
* Buchin, Ingénieur électricien.
* Cabanellas, Ingénieur électricien.
Cadot, Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.
Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.
Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 1, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.
Carpentier (Jules), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.
Carimey, Professeur au Lycée Saint-Louis. Paris, 6e.
Carvallo, Examinateur des élèves à l'Ecole Polytechnique, 1, rue de Clovis. Paris, 5e.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.
* Cauro (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique.
Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.
Chairy, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 6e.
Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
* Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille.

MM. Chauveau, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille. Paris, 7e.

Chaves (Antonio-Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janerio (Brésil).

* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.

Claverie, Censeur au Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

Clément (Louis), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine, Paris, 9e.

Compagnie des chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

* Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

Coppet (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

Cornu, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle. Paris, 7e.

Culmann (Paul), Docteur ès sciences, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

Curie (Pierre), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Haussmann. Paris, 13e.

Dambier, Professeur au Collège Stanislas. Paris, 6e.

Defforges (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, rue de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

* Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Mulhouse (Alsace).

Drouin (Félix), 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Fabut (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Durand, Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

Engel, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

Faivre-Dupaigre, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

MM. Favé, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

* Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Galimard, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.

Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

Gernez, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice, Paris, 6e.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Guébhard (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* Hugo (comte Léopold).

MM. Hemptinne (Alexandre de), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

Husson (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph,* Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Janet (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four. Paris, 6e.

Javal, Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La-Tour-Maubourg, Paris, 7e.

Javal (Jean), 5, boulevard La-Tour-Maubourg. Paris, 7e.

Javaux (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme,* 20, rue d'Hautpoul. Paris, 19e.

* Jennesson, Ancien Principal.

Jénot, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulincourt. Paris, 18e.

Jeunet, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris, Puteaux (Seine).

Jobin (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

* Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

* Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite.

Knoll, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand. Paris 5e.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen. (Seine-Inférieure).

Korda (Désiré), Ingénieur Chef du service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin. Paris, 9e.

Korolkoff (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

Krouchkoll, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

Lacour, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

Laurent (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 5e.

Lapresté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15e.

Laviéville, Inspecteur de l'Académie de Paris, 14, rue Soufflot. Paris, 5e.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin. Paris, 16e.

Leblanc, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy (Seine).

MM. * Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 5e.

* Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

* Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique.

* Lemonnier, Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 2e.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Létang (Dr Marc), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré, Paris, 8e.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 5e.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à à l'Ecole des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne. Paris, 5e.

Marie, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne. Paris, 4e.

* Martin (Ch.) de Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université, Paris, 7e.

Massin, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

MM. * Masson (G.), Libraire-Éditeur.

Maurain, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Rennes (Ille-et-Vilaine).

* Maurat. Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

Menier (Henry), 8, rue de Vigny. Paris, 8e.

Meslin (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (Hérault).

Mestre, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

Métral (Pierre), Agrégé des Sciences Physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy. Paris, 10e.

Molteni (A.), 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

* Moncel (Comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liége (Belgique).

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse. 25, à Vienne (Autriche).

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres (Angleterre).

Nerville (de), Ingr des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8e.

Nogué (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6e.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Ogier (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7e.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9e.

Oumoff (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

Palmade, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

Palmade (F.), Chef de Bataillon du Génie, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

* Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine.

Pellat (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liége (Belgique).

* Pérot, Dessinateur et Graveur.

Pérot (Alfred), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM. Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 47, rue Saint-Ferdinand, Paris, 17e.

Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard, Paris, 6e.

Poincaré (Lucien), Recteur de l'Académie de Chambéry (Savoie).

Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano. Paris, 16e.

Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Pupin (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris, 6e.

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland. Paris, 8e.

* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

Raveau (C.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue Monge. Paris, 5e.

Raymond, Ingénieur principal des Messageries maritimes à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Renault (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14e.

Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

* Rigout (A.), Docteur en Médecine.

Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse. Paris, 6e.

Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

* Roger, Chef d'institution honoraire.

Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne. Paris, 8e.

Romilly (Paul de), Ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Sebert (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

Seligmann-Lui, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

MM. Sentis, professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

Serpollet, Ingénieur, 9, rue de Stendhal. Paris, 20e.

Siegler (Jean), Élève ingénieur à l'École des Mines, 48, rue Saint-Lazare, Paris, 9e.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres (Angleterre).

Strauss, Lieutenant-Colonel Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon. (Doubs).

Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.

Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 5e.

Tombeck, Docteur ès sciences, 59, boulevard Pasteur, Paris, 15e.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6e.

Troost, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville. Paris, 10e.

Vagniez (Edouard), à Amiens (Somme).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

* Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur de l'École Polytechnique.

Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

* Verrier (J.-F.-G.).

Villard (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

Villiers (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire, Paris, 14e.

Vincent (G.), Agrégé, 8, rue l'Abbé-de-l'Épée. Paris, 5e.

Violle, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

Weiss (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

MM. Weiss (Pierre), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

Werlein (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

Weyher, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

Wunschendorff, Ingénieur-Administrateur des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes. Paris, 6e.

Wyrouboff, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

Walckenaer, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

Béclère (Dr Antoine), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 5, rue Scribe. Paris, 9e.

Berger (Dr Emile), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

Buisson (H.), Docteur ès sciences, Agrégé préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5e.

Collin (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

Dongier (Raphaël), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

Gérard (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

Ginsberg (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss.

Hamy (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

Jacobs (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

Morize (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

Nagaoka (H.), Docteur ès sciences, Professeur de physique à l'Université de Tokio (Japon).

Perrin (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 9, rue Rataud. Paris, 5e.

Sagnac (G.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille, 26, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Timiriazeff, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ALBERTOTTI (**Guiseppe**), Professeur d'Oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (**G.**), Chef des travaux de Physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, 2, rue Haudaudine, à Nantes (Loire-Inférieure).

ALLARD (**Félix**), Docteur en Médecine, 46, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ANDRÉ (**Ch.**). Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).

ANGOT (**Charles-Alfred**), Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville. Paris, 10e.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres. Paris, 8e.

ARBEZ (**Léon**), Industriel à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 7, rue Bosio. Paris, 16e.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

ARSONVAL (Dr **d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5e.

AUBEL (Dr **Edmond van**), Professeur à l'Université de Gand, chaussée Courtrai, 131[1], à Gand (Belgique).

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli. Paris, 8e.

AUBERT (**Paul**), Professeur au Collège Stanislas, 2 *bis*, rue de l'Orangerie, à Meudon (Seine-et-Oise).

AUBRY (**Alfred-Joseph**), Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

AUDIBERT, Professeur au Collège, allées Paul-Riquet, à Béziers (Hérault).

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 8, place Saint-Hilaire, à Niort (Deux-Sèvres).

MM.

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

BABLON, 42, rue Boulard. Paris, 14e.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 8, boulevard Thiers, à Dijon (Côte-d'Or).

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BAILLE (**J.-B.**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf. Paris, 11e.

BANDSEPT, Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET (**P.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam. Paris, 16e.

BARBÉ (Dr), 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).

BARBILLON (**Louis**), Docteur ès Sciences physiques, Ingénieur électricien diplômé, 168, rue de Paris, à Vincennes (Seine).

BARDEL, Libraire, à Évreux (Eure).

BARDY (**Charles**), Directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

BARTH (**Johann-Ambrosius**), Libraire, Rossplatz, 17, à Leipzig (Allemagne).

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

BASSAC, Professeur au Lycée, 23, boulevard de Tessé, à Toulon (Var).

BASSÉE (**Jules-Charles**), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

BASSET (**Alphonse**), Professeur au Lycée de Bourges (Cher).

BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur du Service géographique de l'Armée, 138, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAU, Répétiteur général au Lycée de Tunis (Tunisie).

BAUDOT (**Émile**), Ingénieur des Télégraphes, 70, rue du Lycée, à Sceaux (Seine).

BAUME-PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

BEAULARD (**Fernand**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 1, rue Président Carnot, à Grenoble (Isère).

BECKER, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine. Paris, 9e.

BECLÈRE (**Antoine** Dr), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 5, rue Scribe. Paris, 9e.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse (Alpes-Maritimes).

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BECQUEREL (**Jean**), Élève-Ingénieur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 21, quai de Montebello. Paris.

MM.

BÉGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 50, rue du Tilleul, à Roubaix (Nord).

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BEL (**Alexander-Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington, Dr C. (U. S. A.).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD (**Henri**), Docteur ès Sciences, Agrégé de Physique, Pensionnaire à la Fondation Thiers, 5, Rond-Point Bugeaud. Paris, 16e.

BENAVIDES (**Francisco da Fonsea**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST (**Louis**), Professeur au Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles. Paris, 5e.

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

BERG (**Max**), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy. Paris, 10e.

BERGER (**Dr Émile**), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame. Paris, 6e.

BERGONIÉ (**Dr**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERGONIER (**G**), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 29, rue Teste, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11, rue Cujas. Paris, 5e.

BERNARD (**Alfred**), Professeur en retraite, 16, rue Héliot, à Toulouse (Haute-Garonne).

BERNARD, Professeur au Collège d'Apt (Vaucluse).

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 15, rue Guy-de-la-Bosse. Paris, 5e.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

BERTIN-SANS (**Dr Henri**), Professeur, agrégé de la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes, à Nîmes (Gard).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Chef de l'Agence à la Compagnie générale transatlantique, à Alger (Algérie).

MM.

BÉTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 22, boulevard Saint-André, à Beauvais (Oise).

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS DE CAEN.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BIENAYMÉ (**A. F. A.**), Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, Correspondant de l'Institut, 14, rue du Revel, à Toulon (Var).

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion. à Bordeaux (Gironde).

BLOCH (**Salvador**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

BLOCH (**Eugène**), Agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France. Paris, 5e.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue de La Rochefoucauld. Paris, 9e.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais. Paris, 7e.

BLONDIN, (**Joseph**), Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris 9e.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BLUMBACH (**Theodor**), Membre de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte-d'Or).

BODOLU (**de**), Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique de Budapest (Hongrie).

BOISARD (**Louis**), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram. Paris, 17e.

BOITEL (**Louis-Albert**), Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

BOMEL (**Léger**), au grand Séminaire de Meaux (Seine-et-Marne).

MM.

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna. Paris, 16e.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia (Corse).

BONETTI (**L.**), Constructeur électricien, 69, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 11, av. du Roule, à Neuilly-sur-Seine.

BORDÉ (**Paul**), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BORDET (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon (Rhône).

BORGMANN (**J.-J**), Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (**Jagadis, Chunder**) Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 62, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

BOUASSE (**Henri**), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).

BOUCHARD (Dr) Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli. Paris, 1er.

BOUCHEROT (**Paul**) Ingénieur Conseil, 14, rue Daumier. Paris, 16e.

BOUDRÉAUX (**Édouard**), 13, rue de Poissy. Paris, 5e.

BOUDREAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille. Paris, 6e.

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée, Villa Flore, coteau de l'Ermitage, à Agen (Lot-et-Garonne).

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

BOULANGER (**Julien**), Commandant du Génie, Chef du Dépôt central de Télégraphie militaire, 25, boulevard Montparnasse. Paris, 6e.

BOULÉ (**Auguste**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 7, rue Washington. Paris, 8e.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).

BOURGAREL (**Paul**), Professeur au Lycée de Grenoble (Isère).

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV. Paris, 4e.

BOURGEOIS (**Robert**), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef de la Section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BOUSQUET (**E.**) Directeur de l'École normale de Nice (Alpes-Maritimes).

BOUTY (**E.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (**Henri**), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon (Rhône).

MM.

BRANAS (**Gonzalo**), Professeur à l'Institut Provincial Ancha de San Andres, 3, La Coruna (Espagne).

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

BREWER (**William-J**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

BRIEU (**Georges**), Professeur à l'École normale, 11, rue Aubarède, à Périgueux (Dordogne).

BRILLOUIN (**Marcel**), Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

BROCA (Dr **André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, Paris, 7e.

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du Petit Séminaire de Toulouse (Haute-Garonne).

BROWNE (**H.-V.**), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNEL, Lieutenant d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles (Seine-et-Oise).

BRUNHES (**Bernard**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, 37, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

BUDDE (Dr **E.**), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin, N. W. (Allemagne).

BUGUET (**Abel**), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 14, rue des Carmes, à Rouen (Seine-Inférieure).

BUISSON (**Henri**), Docteur ès sciences, Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 15e.

CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude (Jura).

CADIAT, Ingénieur, rue Sainte-Cécile, à La Valette, près Toulon (Var).

CADOT (**Albert**), Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boul. Saint-Michel. Paris, 5e.

CAILLOT DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche (Sarthe).

CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).

CAMICHEL (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Bayard, à Toulouse (Haute-Garonne).

CANCE (**Alexis**), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul. Paris, 10e.

MM.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 1, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

CAPELLE (**Édouard**), Professeur à l'École libre du Caousou, à Toulouse (Haute-Garonne).

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

CARPENTIER (**Jules**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARPENTIER (**Jean**), 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Malherbe, 9, rue des Croisiers, à Caen (Calvados).

CARVALLO (**E.**), Examinateur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis. Paris, 5e.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs. Paris, 1er.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30. rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

CASSAN (Dr **Antony**), Médecin électricien, 5, rue des Pénitents, à Nantes (Loire-Inférieure).

CASTEX (**Edmond**), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 16, rue Bertrand, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice (Alpes-Maritimes).

CAVIALE (**V.**), Professeur de Physique à l'École normale, 49, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise).

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur-électricien, 8, rue Picot. Paris, 16e.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, Villa des Fougères, à Chaville (Seine-et-Oise).

CHADENSON, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Tence (Haute-Loire).

CHAIR, Professeur au lycée, 62, faubourg Montbéliard, à Belfort (Territoire de Belfort).

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

CHAMPIGNY (**A.**), Ingénieur opticien, 11, rue de Berne. Paris, 8e.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts. Paris, 6e.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

MM.

CHARDONNET (**le comte de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue Cambon. Paris, 1er.

CHARLE (**Henri**), Professeur au Collège de Melun (Seine-et-Marne).

CHARPENTIER (Dr **A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, 27, av. de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 1, rue Duban. Paris, 16e.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT (**Henri**), chef des Travaux à l'École supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renan. Paris, 15e.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu. Paris, 5e.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille. Paris, 7e.

CHAUVIN (**Raphaël**), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18e.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHEVALLIER (**Henry**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux (Gironde).

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Bayonne (Basses-Pyrénées).

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest (Finistère).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

COGNET (**Alfred**), Professeur au Collège de Bergerac (Dordogne).

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine. Paris, 9e.

COLLANGETTES (R. P.), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth. (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLLIN (**Th.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet. Paris, 14e.

MM.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Akademia utexa, 2, à Budapest (Hongrie).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe. Paris, 16e.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

COMBES (**Charles**), 15, rue Bara. Paris, 6e.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMBETTE, Inspecteur général pour l'économat des Lycées et Collèges, 63, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann, Paris, 9e.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

COPPET (**de**), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle. Paris, 7e.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 1, place Sainte-Marguerite, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (**A.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée d'Amiens (Somme).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés Catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise (Indre-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tourcoing (Nord).

COUTOIS (l'abbé **F.**), Professeur de Physique à l'École Notre-Dame-de-Bon-Secours, 24, rue Colbert, à Brest (Finistère).

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Licencié ès sciences physiques, 15, rue Soufflot. Paris, 5e.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier (Hérault).

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 12, rue Diday, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, Collaborateur scientifique de la maison Zeiss, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

MM.

CURIE (**Pierre**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

DAGUENET (**P.-C.**), Professeur au Lycée Hoche, 7, rue Mademoiselle, Versailles (Seine-et-Oise).

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas. Paris, 6e.

DAMIEN (**B.-C.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 74, rue Brûle-Maison, Lille (Nord).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DECHEVRENS (le R. P. **Marc**, S. J.), Ancien Directeur de l'observatoire Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences, impasse Reille, Paris, 14e.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi (Tarn-et-Garonne).

DEFFORGES (le Colonel **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, Bureau restant de Galata à Constantinople (Turquie).

DELATTRE (**Félix**), Ingénieur de la Société anonyme de l'Alma, 6, rue de l'Alma, à Roubaix (Nord).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture à Novo-Alexandria, gouvernement Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre, Paris, 14e.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DELMAS (**Léon-Théodore**), Licencié ès sciences, 5, rue Henri-Theulières, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

DELONCLE (**Fr.**), Ministre plénipotentiaire, 59, rue de la Tour. Paris, 16e.

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 74, rue de Dunkerque. Paris, 9e.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers (Vienne).

DEMERLIAC (**R.**), Professeur au Lycée, 33, rue Bosnière, à Caen (Calvados).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais. Paris, 4e.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).

DESCHAMPS (Dr **Eugène**), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

DESLANDRES (**H.**), Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 43, rue de Rennes. Paris, 6e.

DESPRATS (**André**), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier (Jura).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot. Paris, 9e.

DETAILLE (**Charles**). Professeur au Lycée, 81, rue du Couédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

DESLIS, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).

MM.

DEVAUD, Professeur au Lycée, 35, boulevard Marenthié, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

DEVAUX (**Henri**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

D'HENRY (**Louis**), Ingénieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

DIDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 5, rue de la Santé. Paris, 13e.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 93, rue Hayeneux, à Liége (Belgique).

DIGEON (**J.**), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage. Paris, 10e.

DINI (**Urbain**), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

DININ (**Alfred**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 69, rue Pouchet. Paris, 17e.

DIOMARD, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

DOMERGUE (**E.**), Résident à Haiphong (Tonkin).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson. Paris, 17e.

DONGIER (**Raphaël**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine commandant l'Artillerie de l'arrondissement de Caen (Calvados).

DOUCEUR, 42, rue Jouffroy. Paris, 17e.

DOUMER (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 10, place Bréda. Paris, 9e.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perre (Seine).

DUBOIS (**René**), Professeur à l'École Turgot, 15, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

DU BOIS (Dr **E.-H.**), Schiffbauerdamm, 21, à Berlin N. W. (Allemagne).

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabut (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7 et 9, rue d'Abbeville. Paris, 10e.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon (Rhône).

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard. Paris, 5e,

MM.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université de Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin. Paris, 6e.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 9e.

DUPOUY (Dr **Raoul**), Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux (Gironde).

DUPONT (**Charles**), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (Dr **Ernest**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

DURAND, Censeur du Lycée Carnot, à Tunis (Tunisie).

DUSSAUD, Ancien Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 160, boulevard Pereire. Paris, 17e.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

DUTOIT (Dr **Constant**), Docteur ès sciences, Professeur, 3, avenue de Georgette, à Lausanne (Suisse).

DVORAK (Dr **Vincent**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

EBEL, Ingénieur en chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes. Paris, 17e.

EDELBERG (**Alexandre**), Ingénieur opticien à Kharkoff (Russie).

ÉGOROFF (**Nicolas**), sous-directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures, 19, Zabalkansky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (**Serge**), Observateur à l'observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais. Paris, 8e.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville (Somme).

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

FABRY (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

FAIVRE-DUPAIGRE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

MM.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET (**Emile**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

FERRA (**C.-J.**), Résident, Secrétaire de l'observatoire de l'Indo-Chine, Phu-Lien, à Haïphong (Tonkin).

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École-de-Médecine, à Toulouse (Haute-Garonne).

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux (Gironde).

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

FOUCHÉ, Directeur de la Société de l'acétylène dissous, 28, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe. Paris, 16e.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

FRÉMONT (Dr), rue du Geôle, à Caen (Calvados).

FRICKER (le Dr), 6, square de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

FROC (le R. P.), à l'observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres. Paris, 6e.

FRUH (**Eugène**), 11, rue de Cujas. Paris, 5e.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

GAILLARD (**Pierre**), Professeur au Lycée, 1, rue de Côte, à Roanne (Loire).

GAIN (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine. Paris, 6e.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontaka, 144, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

GALLOTTI, Professeur au Lycée, 20, rue Saint-Cyran, à Châteauroux (Indre).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Nevers (Nièvre).

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Charleville (Ardennes).

MM.

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

GARNUCHOT, Professeur honoraire du Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun (Seine-et-Marne).

GASCARD (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

GAUTIER (**P.**), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago. Paris, 13e.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 1, avenue des Lilas, aux Prés-Saint-Gervais (Seine).

GAY (**Jules**), Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, Examinateur d'admission à l'École militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

GEITLER (Dr **J. Chevalier de**), Privat docent à l'Université de Prague (Autriche).

GELLÉ (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Professeur à l'École Sainte-Geneviève, 5, rue de la Chaise. Paris, 6e.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi. Paris, 14e.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers (Maine-et-Loire).

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

GERARD (**Éric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 43, rue Saint-Gilles, à Liége (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 18, rue Saint-Sulpice. Paris. 6e.

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix (Nord).

GILLES (**A.**), Inspecteur général de l'Instruction publique; 22, rue Vauquelin. Paris, 5e.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité. Paris, 4e.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

MM.

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 67, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 19, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

GIVERT (**Arthur**), Professeur au Lycée, 3*bis*, rue de Nemours, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GODART (**Léon**), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

GODART, Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne (Oise).

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY (**R.-E.**), Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor. Paris, 16e.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboulet, à Rouen (Seine-Inférieure).

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOISOT (**Georges**), Ingénieur de la Société anonyme de anciens Établissements Parvillée frères et Cie, 10, rue Bélidor. Paris, 17e.

GOLAZ (**L.**). Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 25 *bis*, avenue de Montsouris. Paris, 14e.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKI (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 19, rue Nollet. Paris, 17e.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet. Paris, 8e.

GOSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (**Gustave**), Docteur ès sciences, professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

GOUY (**G.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon (Cher).

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès sciences physiques, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Bar-le-Duc (Meuse).

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Co, Silvertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes. Paris, 12e.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun (Saône-et-Loire).

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MM.

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir, Lyon (Rhône).

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Compagnie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3e.

GROGNOT (**L.**), Ingénieur chimiste, 35, rue Saint-Lazare, à Saint-Ouen-l'Aumône (Seine-et-Oise).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon (Côte-d'Or).

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes),

GUEORGUIEWSKY (**Nicolas**), Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUERBY, Professeur au Lycée d'Annecy (Haute-Savoie).

GUÉROULT (**Georges**), Ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 17, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLET, Professeur au Collège Chaptal, 158, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 43, rue du Rocher. Paris, 8e.

GUILLEMINOT, Docteur en Médecine, 13, chaussée de la Muette. Paris, 16e.

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra. Paris, 1er.

GUINCHANT (**J.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue de l'Hospice, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (**Camille**), Ancien élève de l'École Normale Supérieure, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 40 *bis*, rue Gambetta, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUYE (**Philippe.-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, Professeur agrégé à l'École Polytechnique de Zurich, 83, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYENOT (**Paul-Louis**), Docteur en Médecine à Aix-les-Bains (Savoie).

MM.

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionsstrasse, à Bâle (Suisse).

HAGENBACH (**Auguste**), Privat-docent à l'Université, Breitestrasse, à Bonn-sur-Rhin, près Cologne (Allemagne).

HALE (**Georges**), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago, Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

HALLER (**A.**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Le Goff. Paris, 5e.

HAMY (**Maurice**), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

HANRIOT (**Th.**), Ancien recteur des Ardennes, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HARKER (Dr **John-Allen**), Docteur ès sciences, Membre du Owens-College, Cape House, Kingston Road, Ieddington (Angleterre).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 89, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (**Pierre de**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liége (Belgique).

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie. Paris, 4e.

HEMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 43, rue Tournefort. Paris, 5e.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENOCQUE (Dr **A.**), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physique biologique du Collège de France, 11, avenue Matignon. Paris, 8e.

HENRY (**Édouard**), Professeur de physique au Lycée, 28, rue Capitaine-Lefort, à Lorient (Morbihan).

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 22, rue Marlot, à Reims (Marne).

HENRY (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, à la Sorbonne. Paris, 5e.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne. Paris, 5e.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HERSE (**Charles-Alexandre**), Professeur au Collège, 12, rue du Beffroi, à Soissons (Aisne).

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir. Paris, 10e.

HIRSCH, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 1, r. Castiglione. Paris, 1er.

MM.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Vesoul (Haute-Saône).

HOMEN (**Théodore**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 87, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HOULLEVIGUE, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).

HOWE (**Henry M.**), Professeur de Métallurgie à Columbia University, Columbia University, New-York City (États-Unis).

HUDELO, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile. Paris, 4e.

HUET (**Ernest**), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes. Paris, 6e.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de Brosses, à Dijon (Côte-d'Or).

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSOR (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin), et 45, avenue Trudaine. Paris, 9e.

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine. Paris, 9e.

IMBAULT (**G.**), Censeur du Lycée Henri-Martin, à Saint-Quentin (Aisne).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée, 62, avenue Saint-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 8, rue du Four. Paris, 6e,

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon (Seine-et-Oise).

JARRE (**L.-M.**), Ingénieur électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et Cie, 9, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

JAUBERT (**Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

MM.

JAUMANN (Dr **G.**), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

JAVAL (**Jean**), 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

JAVAUX (**Émile**), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 20, rue d'Hautepoul. Paris, 19e.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 11, r. Caulaincourt. Paris, 18e.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense de Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès sciences physiques et mathématiques, 15, rue Monsieur. Paris, 7e.

JOB, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

JOLY (**Louis**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 4, rue d'Italie, à Vincennes (Seine).

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris. Paris, 14e.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

JOUBIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

JOUCLAS (**Louis**), 290, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes-Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow, Netherhall, Largs, Ayrshire (Écosse), 15, Eaton Place, Londres, S. W. (Angleterre).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KŒNIG (**Rudolph**), Docteur en philosophie, Constructeur d'instruments d'acoustique, 27, quai d'Anjou. Paris, 4e.

KORDA (**Désiré**), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin. Paris, 9e.

KOROLKOFF (**Alexis**), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

KOUPRIANOFF, Capitaine à l'Académie d'Artillerie Saint-Michel, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOUSTOVSKY (**Mitrophan**), Professeur au gymnase russe, Russie Mariopol, mer d'Azow.

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux (Gironde).

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 77, rue de Prony.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble (Isère).

LACOUR (**Alfred**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

LAFAY, Capitaine, adjoint à l'atelier de précision, représentant la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin. Paris, 7e.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur électricien, 70, boulevard Magenta. Paris, 10e.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFONT (R. P. **Eugène**), S. J., C. I. L. Professeur de physique au collège Saint-François-Xavier, 10, Park St. Calcutta (Indes-Anglaises).

LAGRANGE (**Eugène**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences Industrielles, 40, Allée Saint-Étienne, à Toulouse (Haute-Garonne).

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAMOTTE, Agrégé, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement de la Faculté des Sciences, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine. Paris, 14e.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 127, boulevard Haussmann. Paris, 17e.

LANIÈS, Professeur au Lycée de Vendôme (Loir-et-Cher).

LAPORTE, Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon. Paris, 7e.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15e.

LAROCHE (**Félix**), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram. Paris, 17e.

LAROUSSE (**Auguste**), Chargé de Cours au Lycée, 28, avenue Bertrand-de-Born, à Périgueux (Dordogne).

MM.

LATCHINOFF, Professeur de l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 6, chaussée Saint-Pierre, à Angers (Maine-et Loire).

LAURENT (**Léon**), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

LAURIOL (**Pierre**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 1, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

LAVERDE (Dr **Jésus-Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAVIÉVILLE (**Augustin**), Inspecteur d'Académie, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

LAWTON (**George-Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE BAYON (Dr), Chef du Laboratoire de Radiographie à la Clinique générale de Chirurgie, 5, place de l'Odéon. Paris, 6e.

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin. Paris, 16e.

LEBLANC (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Bouflers, villa Montmorency. Paris, 16e.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon. Paris, 8e.

LECARME (**Jean** et **Louis**), Ingénieurs-Constructeurs, 118, rue de Vaugirard, Paris, 6e.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Charles**), 73, rue Notre-Dame des-Champs. Paris, 6e.

LECHER (Dr **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LEDUC, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 20, avenue de Gigant, à Nantes (Loire-Inférieure).

MM.

LEFÈVRE (**Z.-H.-D.**), Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric-Petit, à Amiens (Somme).

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue du Rocher. Paris, 8e.

LEMESLE, Professeur et Secrétaire de l'École de Médecine et de Pharmacie d'Angers (Maine-et-Loire).

LEMERAY (**Maurice**), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil, 109 *bis*, rue Villez-Martin à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

LEMOINE (**Constant**), Professeur au Lycée de Cherbourg (Manche).

LEMOINE (**Georges**), Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 79, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LENOIR (**Léon**), Préparateur de Physique au Lycée, 53, rue Victor-Hugo à Brest (Finistère).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon (Rhône).

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

LERAY (le P. **Ad.**), Eudiste, 12, rue du Quinconce, à Angers (Maine-et-Loire).

LERMANTOFF, Professeur de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse. Paris, 14e.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

LEROY (Dr **C.-I.-A.**), Chef du Service scientifique des ateliers Nachet, 80, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre-et-Loire).

LESOBRE, Professeur au Collège, 13, rue Créroulin, à Melun (Seine-et-Marne).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

LÉTANG (Dr **Marc**), 272, Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest à Conlie (Sarthe).

LÉVY (**Armand**). Professeur de Physique, 124, rue de Cazault, à Alençon (Orne).

LEYMARIE, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure.

LHUILLIER, Professeur, rue Duguesclin, à Lorient (Morbihan).

LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA, à Philadelphie (États-Unis). Chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon (Rhône).

MM.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 6e.

LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère. Paris, 17e.

LOISELEUR, Chargé de cours de Sciences au Lycée, 11, rue Desfourniel, à Bordeaux (Gironde).

LOUGUININE (**W.**), Docteur honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKI (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le R. P. **J.-D.**), S. I., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, 4, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences physiques, à l'Institut Physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Industriel, 22, rue Rochechouart. Paris, 9e.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MACH (Dr **ERNST**), Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Hofstattgasse, 3, Vienne (Autriche).

MACK (**Ed.**), Licencié ès sciences physiques, 12, rue Linné. Paris, 5e.

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

MALLAT (R. P. **Jean**), Professeur à Saint-Joseph College, à Trichinopoly (Indes anglaises).

MALLY (Dr **Francis**), 24, rue de Saint-Pétersbourg. Paris, 8e

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 129, rue Solon, à Athènes (Grèce).

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).

MM.

MANEUVRIER, Directeur Adjoint du Laboratoire des Recherches (physiques) à la Sorbonne. Paris, 5e.

MANVILLE (**Octave**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (**Dr**), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot. Paris, 1er.

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert. Paris, 16e.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine. Paris, 4e.

MARSAL (**P.**), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet. Paris, 16e.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche (Sarthe).

MARTINEZ (R. P. **E.**), Professeur de Physique, au Colegio San Jose, à Valladolid (Espagne).

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central météorologique, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Église-du-Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée, 50, boulevard Delorme, à Nantes (Loire-Inférieure).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, place Dupuy, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (**Louis**), Directeur de la Station œnologique de Bourgogne, à Beaune (Côte-d'Or).

MATHIEU (**Joseph-Louis**), Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient (Morbihan).

MAURAIN (**Charles**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

MELANDER, Préparateur à l'Université Skepparebrianten à Helsingfors (Finlande).

MENIER (**Henri**), Ingénieur, 8, rue Alfred-de-Vigny. Paris, 8e.

MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard Van der**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).

MM.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes. Paris, 5e.

MERCANTON (**Paul-Louis**), Ingénieur électricien, 2, square de Georgette, à Lausanne (Suisse).

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).

MESLANS (**Maurice**). 59, quai de la Baronnie, à Ablon (Seine-et-Oise).

MESLIN (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).

MESTRE, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

METZ (**de**), Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

MEYER (**Dr Stefan**), Privat docent à l'Université Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN (**Eugène**), Ingénieur, 23, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

MICHAUT (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 1, rue des Novices, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy. Paris, 10e.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICKS (**Richard**), Professeur au Gymnase communal, à Trieste (Autriche).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université, 3, Strada Spatarului à Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat (Ille-et-Vilaine).

MISERY (**Charles-Gustave**), Ingénieur civil, 15, rue de la Fontaine-du-Gué, à Deuil (Seine-et-Oise).

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOESSARD, Lieutenant-Colonel du Génie, 189, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur, 15, rue Origet, à Tours, et 44, rue du Château-d'Eau. Paris, 10e.

MONNIER (**D.**), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothenet, et 22, rue de la Faisanderie. Paris, 16e.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 5, rue Montebello, à Versailles (Seine-et-Oise).

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MM.

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur du Royaume de Belgique, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère. Paris, 17e.

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 49, avenue de la Gare, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MOREUX (l'abbé **Th.**), Professeur de Physique à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 40, rue Barathon, à Montluçon (Allier).

MORIN (**F.**), Docteur en Médecine, place Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

MORIZOT, Chargé du Cours, au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).

MORS, Ingénieur, constructeur d'appareils électriques, 84, rue du Théâtre, Grenelle. Paris, 15e.

MOSER (Dr **James**), Privat-docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig). Paris, 15e.

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26e d'Artillerie, 59, rue Bobillot, au Mans (Sarthe).

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'Administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa, n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MOUSSETTE (**Ch.**) Ingénieur chimiste, 73, boulevard Suchet. Paris, 16e.

MUHLL (**K. von der**), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., Sherborne Lodge, Sportlands Kent (Angleterre).

MULLER (**Paul**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences 1, rue Grainville, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MULLER (**Victor**), Professeur au Lycée, 32, faubourg de Breuil, au Puy (Haute-Loire).

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Nowoya Alexandria (Russie).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin. Paris, 5e.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers. Paris, 3e.

NAGAOKA (**H**), Docteur ès Sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

MM.

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NEGREANU (**D.**), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8e.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans (Loiret).

NICOLAIEVE (**Wladimir de**), Colonel d'Artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NODON (**Albert**), Ingénieur-conseil, 69, rue Madame. Paris, 6e.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet. Paris, 5e.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6e.

NORDMANN (**Ch.**), Licencié ès Sciences, à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon (Seine-et-Oise).

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de Télégraphie technique à l'École de Guerre, à Bruxelles (Belgique), Hôtel de France, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NOUGARET (**Élie**), Proviseur du Lycée de Grenoble (Isère).

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minérologie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, Chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (**Jules**), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7e.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès Sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 22, rue du Général-Foy. Paris, 8e.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9e.

ONDE, Professeur au Lycée Henri-IV, 41, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE (**L.-P.**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 42, boulevard Magenta. Paris, 10e.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 58, rue de Turenne, à Lille (Nord).

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès Sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (**F.**), Chef de bataillon au Génie, commandant le 20e bataillon à Toul (Meurthe-et-Moselle).

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, Directeur de l'École Descartes, 46, rue de la Tour. Paris, 16e.

PARAYRE (l'abbé **D.**), Aumônier des Sœurs de la Providence, 2, rue de la Fraternité, à Colombes (Seine).

MM.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi. Paris, 11e.

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Normale Supérieure, Professeur au Collège, boulevard du Midi, à Vitry-le-François (Marne).

PALVIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph Co, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Censeur du Lycée de Bourges (Cher).

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELLAT (**H.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

PELISSIER (**Eugène**), Maître de Conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'École coloniale, 5, rue Sainte-Beuve. Paris, 6e.

PERNET (Dr **J.**), Professeur à l'École Polytechnique, 84, Gloriastrasse, à Zurich (Suisse).

PERNIN (**René**), 60, rue des Tournelles. Paris, 3e.

PEROT (**Alfred**), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 22, chemin des Chartreux, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

PÉROUX (**E.**), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue Camus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PERRIER (Lieutenant), État-major de l'Armée, service géographique, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris, 9, rue Ratand. Paris, 5e.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PETIT (**A.**), Pharmacien de 1re classe, Licencié ès Sciences physiques, 8, rue Favart. Paris, 2e.

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée, 13, rue de Strasbourg, à Nantes (Maine-et-Loire).

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des Chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

PEYRUSSON (**Édouard**), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin Petit-Tour, à Limoges (Haute-Vienne).

MM.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher.)

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement (Physique) de la Sorbonne, villa Denise, 20, rue Imbergères, à Sceaux (Seine).

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

PILLEUX, Ingénieur électricien, 79, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Denfert-Rochereau, à Grenoble (Isère).

PIROT (l'abbé), Professeur à l'Institution Sainte-Marie, à Bourges (Cher).

PISCA (**Michel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 152, rue Marcadet. Paris, 18e.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard. Paris, 6e.

POINCARÉ (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

POINCARÉ (**Lucien**), Recteur de l'Académie de Chambéry (Savoie).

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens (Somme).

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano. Paris, 16e.

POMEY (**J.-B.**), Ingénieur des Télégraphes, 7, Sentier des Jardies, à Bellevue (Seine-et-Oise).

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram. Paris, 17e.

PONSOT (**A**), Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 26, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

POPPER (**Josef**), Ingénieur-Constructeur de machines, Seidengasse, 31, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

POZZI-ESCOT (**E.**), Chimiste, à Malzeville (Meurthe-et-Moselle).

PRÉAUBERT (**E**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

MM.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PRIEUR (**Albert**), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

PUPIN (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris. 6e.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 38, avenue Friedland. Paris, 8e.

QUEFFELLEC (**Auguste**), Licencié ès Sciences, Professeur à l'École Saint-Joseph, rue Solférino, à Lille (Nord).

QUERVAIN (**Alfred de**), à Muri, près Berne (Suisse).

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé, à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis. Paris, 14e.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire. Paris, 3e.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion. Paris, 5e.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin. Paris, 17e.

RAVEAU (**C.**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue des Écoles. Paris, 5e.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

RECHNIEWSKI (**W.-C.**), Ingénieur-électricien, 1, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

RECOURA (**Albert**), Doyen de la Faculté des Sciences de Lyon, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon (Côte-d'Or).

RÉGNARD (Dr **P.**) Membre de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut agronomique, 222, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

RENARD (**Charles**), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).

RENAULT (**Albert**), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14e.

REVOY, Professeur au Lycée Gay-Lussac, 25, avenue des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

REY PAILHADE (**J. de**), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

RIBAN (**Joseph**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas. Paris, 6e.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

RICARD (Dr **E.**), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

MM.

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue. Paris, 19e.

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université. Paris, 7e.

RIGOLLOT (**Henri**), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université, 43, chemin des Grandes Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

RILLIET, Professeur à l'Université, 16, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse. Paris, 6e.

RIVIÈRE, Docteur en Médecine, 25, rue des Mathurins. Paris, 9e.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 54, rue du Four. Paris, 6e.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Capron. Paris, 18e.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Collège Vassiliewski Ostrow, 14e ligne, n° 23, log. 12, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 4, rue Perpigna, à Pau (Basses-Pyrénées).

ROMILLY (**Félix de**), 25, avenue Montaigne. Paris, 8e.

ROMILLY (**Paul Worms de**), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

ROPIQUET, Pharmacien, à Corbie (Somme).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirrier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).

ROSSET (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Albouy. Paris, 10e.

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

ROUBAULT, Professeur au Lycée d'Angoulême (Charente).

ROUDET, Professeur au Collège, 4, place Nationale, à Villefranche (Aveyron).

ROUMAILLAC, Docteur en Médecine, à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Étienne (Loire).

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-le-Bas. Paris, 9e.

ROYCOURT (**Eugène**), Constructeur électricien, successeur de M. Bonetti, 69, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

RYTKATCHEFF (Général), Directeur de l'observatoire de Physique Central Nicolas, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAGNAC (**Georges**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille, 26, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

SAID (**Dj. Mehmeh**), Ingénieur attaché technique à l'Ambassade de Turquie, à Paris, boulevard Arago. Paris, 14e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du Gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 19, rue de Téhéran. Paris, 8e.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais. Paris, 8e.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes (Gard).

SAMAMA DE CHIKKI (**A.**), rue Sidi-Sofian, à Tunis (Tunisie).

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique, à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud. Paris, 5e.

SANTERRE, 2, quai Malaquais. Paris, 6e.

SARASIN (**E.**), Docteur ès Sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).

SARRAN (**E.**), Professeur au Lycée, 79, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 12, quai Henri IV. Paris, 4e.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren. Paris, 15e.

SAUVAGE (**E.**), Employé des Postes et des Télégraphes, Câble sous-marin, à Haïphong (Tonkin).

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHÜRR (**Joseph**), Professeur au Lycée, route de Clermont, à Montluçon (Allier).

SCHWEDOFF, Professeur de Physique, Recteur de l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Bréguet, 15, rue Bizet. Paris, 16e.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf. Paris, 1er.

SECRETARY OF THE BOARD OF EDUCATION, Londres W. C. (Angleterre).

SÉGUIN, Recteur honoraire, 27, rue Chaptal. Paris, 9e.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

MM.

SEMENOFF, 18, boulevard Arago. Paris, 13e.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 9, rue de Stendhal. Paris, 20e.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac. Paris, 7e.

SIEGLER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIEGLER (**Jean**), Élève-Ingénieur des Mines, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIGALAS (Dr **C.**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au Grand Séminaire de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes. Paris, 6e.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Université Léopole, Duglosza, 8, rue Léopole-Lemberg (Autriche).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 22, rue des Palais, à Bruxelles (Belgique).

SORET (**Adrien**), Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SORET (**Ch.**), Professeur à l'Université, 8, rue Beauregard, à Genève (Suisse).

SORBIER (**J.**), Professeur de Physique à Saint-Girons (Ariège).

SPRING (**W. V.**), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université, 32, rue Beckmann, à Liége (Belgique).

STACKELBERG (baron **Édouard de**). Reval Dom Ritterhaus (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STCHEGLAYEF (**Woldemar**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, Place Ossoxine, Maison Britneff, log. t, no 11, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail. Paris, 14e.

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Ledsfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAVOLCA, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

STRAUSS (**S.**), Lieutenant-Colonel, Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon (Doubs).

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

SULZER (**E.-C.**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville. Paris, 17e.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 85, rue Jeanne-d'Arc, à Lille (Nord).

MM.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome (Italie).

TAILLEFER (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TANGL (**Charles**), Docteur de l'Université, Kerepesi utera 80, à Budapest, (Hongrie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de Météorologie dynamique de Trappes, 82, avenue Marceau. Paris, 8e.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste-agronome, 6, pl. St-Sulpice. Paris, 6e.

THIESEN (Dr **Max**), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres N.-W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 6e.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel. Paris, 5e.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École Navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Docteur ès Sciences, 59, boulevard Pasteur. Paris, 15e.

TONARELLI, Professeur au Lycée de Chambéry (Savoie).

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade. Paris, 5e

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6e.

TREUVEY (l'Abbé **Charles**), Professeur de Physique au Collège de la Trinité, 58, rue de Sèze, à Lyon (Rhône).

TRIPIER (Dr), 8, rue Vignon. Paris, 9e.

TROOST, Membre de l'Institut. Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TROUPOT (l'Abbé **J.-E.**,), Professeur à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc (Meuse).

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne. Paris, 2e.

TSCHERNING (Dr **Marius**), Directeur du Laboratoire d'Opthalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières. Paris, 6e.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue d'Hauteville. Paris 10e.

MM.

TURPAIN (**A.**), Docteur ès Sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue de Châteaudun, à Bordeaux (Gironde).

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 10, rue de Redon, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

ULLMANN (**Jacques**), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10e.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemercier, à Amiens (Somme).

VANDEVYVER-GRAU, Docteur ès Sciences et Répétiteur à l'Université, 14, rue Saint-Amand, à Gand (Belgique).

VARENNE (**de**), Préparateur au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 7, rue de Médicis. Paris, 6e.

VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 7, boulevard Solférino, à Billancourt (Seine).

VASSEUR (**Alfred**), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens (Somme).

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (**Louis**), Professeur au Lycée, 7, rue Antoine-Marty, à Carcassonne (Aude).

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux. Paris, 15e.

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 44, rue de Berlin, Dijon (Côte-d'Or).

VIEILLE, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres. Répétiteur à l'École Polytechnique, 12, quai Henri IV. Paris, 4e.

VIGNON (**Léo**), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).

VIGOUROUX (Dr **Romain**), Médecin de l'Institut municipal d'Électrothérapie à la Salpêtrière, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette. Paris, 9e.

VILLARD (**P.**), Docteur ès Sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

VINCENS (**Albert**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 10, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

VINCENT, Docteur ès Sciences, Agrégé, 8, rue de l'Abbé-de-l'Épée. Paris, 5e.

VINCENT (l'Abbé), Professeur à l'Institution Saint François de Sales, à Alençon (Orne).

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre. Paris, 14e.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

MM.

VIRIEU (Marquis **de**), au Château de Pupetières, par Chabons (Isère), ou 107, rue de la Pompe. Paris, 16e.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur-Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles. Paris, 5e.

VLIET (**Van der**), Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, au Mans.

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

WALLON (**Étienne**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

WEIL (**Albert**), Docteur, 151, boulevard Magenta. Paris, 10e.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 29, rue de Londres. Paris, 9e.

WEINBERG (**Boris**), Privat docent de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (**Pierre**), Docteur ès Sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35, cours d'Herbouville, à Lyon (Rhône).

WEISSMANN (**Gustave**), Ingénieur des Constructions civiles E.C.P., 3, rue Chaptal. Paris, 9e.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WEST (**Emile**), Chef du Laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLF (**Charles**), Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines. Paris, 5e.

WOLFF (Dr **Edmond**), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, 20 *bis*, rue Chaptal. Paris, 9e.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur général des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes. Paris, 6e.

WYROUBOFF (**G.**), Docteur ès Sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

MM.

YVON (**P.**) Membre de l'Académie de Médecine, 26, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 16e.

ZILOFF (**Pierre**), Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

ZIMMERN (**A.**), Ancien Interne des Hôpitaux, 121, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Juillet 1901.

Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent général de la Société, 11, rue Rataud.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Général BASSOT. — Allocution prononcée dans la Séance du 19 janvier 1900. 5
Edouard BRANLY. — Absorption des radiations hertziennes par les liquides. 9
C. VINCENT. — Sur l'épaisseur des couches de passage..... 15
Henri BECQUEREL. — Contribution à l'étude du rayonnement du radium... 28
J. RIBAN. — Sur un nouveau gazomètre à pressions constantes et variables à volonté..... 38
JOB. — Appareil gazométrique..... 42
C. RAVEAU. — Sur la loi élémentaire de l'électromagnétisme..... 44
A. CORNU. — Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat..... 47
VIEILLE. — Étude sur le rôle des discontinuités dans les phénomènes de propagation..... 61
E. MERCADIER. — Sur la réalisation des résultats de la théorie générale des petits mouvements par l'emploi de mouvements électriques périodiques; système de télégraphie multiple réversible ou multiplex..... 84
R. MARAGE. — Théorie de la formation des voyelles..... 109
A. COTTON. — Appareil pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques..... 148
TURPAIN. — Application des ondes électriques à quelques problèmes simples de télégraphie. — Transmission Duplex. — Téléphonie et télégraphie simultanées..... 155
H. MOULIN. — Vérification de deux formules donnant les volumes de vapeur saturée et les tensions maxima en fonction de la température..... 160
E. MATHIAS. — Sur deux groupes remarquables de lieux géométriques..... 165
H. AMAGAT. — Sur les lois des chaleurs spécifiques des fluides..... 173
Pierre CHAPPUIS et J.-A. HARKER. — Comparaison du thermomètre à résistance de platine avec le thermomètre à gaz et détermination du point d'ébullition du soufre..... 179
R. SWYNGEDAUW. — Sur le retard de décharge..... 187
G. BERLEMONT et JOUARD. — Nouveau modèle de trompe à mercure..... 194
P. VILLARD. — Transformateur à haut voltage à survolteur cathodique.... 197
H. BÉNARD. — Étude expérimentale des courants de convection dans une nappe liquide. — Régime permanent : Tourbillons cellulaires..... 202
H. BÉNARD. — Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. — Méthodes optiques d'observation et d'enregistrement..... 213

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

Pages.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1900 ..... 1*

TISSOT. — Télégraphie sans fil 1*
Edouard BRANLY. — Absorption des radiations hertziennes par les liquides. 2*
G. SAGNAC. — Explication nouvelle de la propagation de la lumière à travers les milieux doués d'une absorption élective 3*
Rapport de la Commission des comptes sur l'Exercice 1898-1899 ..... 4*

SÉANCE DU 19 JANVIER 1900 ..... 8*

G. VINCENT. — Sur l'épaisseur des couches de passage 9*
M. et Mme CURIE. — Sur les propriétés des corps radio-actifs 10*

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1900 ..... 12*

Maurice HAMY. — Sur la mesure interférentielle des diamètres des petits astres 12*
BROCA. — Sur les surfaces de discontinuité des champs de vecteur 13*
BROCA. — Théorie thermodynamique du refroidissement musculaire 14*

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1900 ..... 15*

Paul SACERDOTE. — Les déformations électriques des diélectriques solides isotropes 15*
H. BECQUEREL. — Contribution à l'étude du rayonnement du radium 16*
VILLARD. — Remarques au sujet de la Communication de M. *Becquerel*. 17*

SÉANCE DU 2 MARS 1900 ..... 18*

RIBAN. — Gazomètre à pressions constantes et variables à volonté 18*
C. RAVEAU. — Sur la loi élémentaire des actions électromagnétiques et l'induction unipolaire 18*
M. et Mme CURIE. — Radiations diverses des corps radio-actifs 20*

SÉANCE DU 16 MARS 1900 ..... 21*

CRÉMIEU. — Remarques au sujet de la Communication de M. *Raveau* 21*
A. BLONDEL. — Remarques au sujet de la Communication de M. *Raveau*. 22*
VIEILLE. — Rôle des discontinuités dans les phénomènes de propagation. 22*
P. VILLARD. — Sur la décharge des corps électrisés et la formation de l'ozone 23*

SÉANCE DU 6 AVRIL 1900 ..... 24*

A. CORNU. — Sur la loi de rotation diurne du champ optique fourni par le sidérostat et l'héliostat 26*
DESLANDRES. — Remarques au sujet de la Communication de M. *Cornu*. 27*

Pages.

A. Cornu. — Réponse à M. *Deslandres* 28*
Dongier. — Lumière polarisée émise par un tube de Geissler soumis à l'action d'un champ magnétique 28*
Ch.-Ed. Guillaume. — Loupe binoculaire stéréoscopique de M. *E. Berger*. 30*

SÉANCE ANNUELLE. — Réunion du vendredi 20 et du samedi 21 avril 1900. 31*

Marage. — Analyse et synthèse des voyelles 32*
C. Gutton. — Sur la propagation des ondes électromagnétiques 33*
Maurain. — Appareil gazométrique de M. *Job* 34*
Mathias. — Sur le rapport de la chaleur de vaporisation interne à la différence des densités 34*
Mathias. — Sur un lieu géométrique considéré par M. *Amagat* 35*
A. Turpain. — Application des ondes électriques à quelques problèmes de télégraphie 36*
Moulin. — Vérification de deux formules donnant les volumes de vapeur saturée et les tensions maxima en fonction de la température 37*
Cotton. — Sur un appareil pour la mesure des champs magnétiques 38*
Langevin. — Sur l'ionisation des gaz 39*

SÉANCE DU 4 MAI 1900 ..... 40*

A. Cornu. — Compte rendu de l'Exposition annuelle 40*
H. Becquerel. — Sur le rayonnement du radium 43*
E. Mercadier. — Système de télégraphie multiplex 43*
Ch.-Ed. Guillaume. — Appareil servant à démontrer les phénomènes de résonance et de synchronisation 44*

SÉANCE DU 18 MAI 1900 ..... 44*

P. Villard. — Rayonnement du radium 45*
H. Bénard. — Mouvements tourbillonnaires permanents dans un liquide transportant de la chaleur par convection 46*

SÉANCE DU 1er JUIN 1900 ..... 47*

Tissot. — Radio-conducteurs à électrodes polarisées 48*
Vasilesco Karpen. — Appareil représentant mécaniquement les phénomènes présentés par les condensateurs 49*
Amagat. — Sur les lois des chaleurs spécifiques des fluides 50*
H. Bénard. — Tourbillons cellulaires : Étude optique de la surface libre. Lois numériques 51*

SÉANCE DU 15 JUIN 1900 ..... 53*

P. Chappuis. — Comparaison entre le thermomètre à résistance de platine et le thermomètre à azote 53*
Henri Dufour. — Quelques transformations des rayons X 54*
Swyngedauw. — Sur le retard des décharges de certaines expériences de M. Warburg 55*

Pages.

SÉANCE DU 6 JUILLET 1900 ..... 55*

V. CRÉMIEU. — Recherches sur l'existence du champ magnétique produit par le mouvement d'un corps électrisé 56*
H. LE CHATELIER. — Sur la propagation des ondes dans les mélanges gazeux en combustion 57*
BERLEMONT et JOUARD. — Sur un nouveau type de trompe à mercure 58*
P. VILLARD. — Sur la radio-activité du bismuth 59*

SÉANCE DU 16 NOVEMBRE 1900 ..... 60*

A. CORNU. — Compte rendu du Congrès international de Physique 60*
Ch.-Ed. GUILLAUME. — Sur la publication des volumes contenant les Mémoires présentés au Congrès international de Physique 63*
H. ABRAHAM. — Présentation de divers appareils de mesures électriques. 65*

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1900 ..... 66*

BRILLOUIN. — La constante de la gravitation universelle et les irrégularités locales de la pesanteur 67*
P. VILLARD. — Transformateur à haut voltage et à survolteur cathodique 67*

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1900 ..... 68*

A. DE GRAMONT. — Contribution à l'étude de la réfraction et de la dispersion. 68*
V. CRÉMIEU. — Sur la convection électrique et les expériences de M. Rowland 69*
MATIGNON. — La métallurgie à base d'aluminium : l'aluminothermie 71*

LISTE DES OUVRAGES REÇUS PENDANT L'ANNÉE 1900 ..... 73*

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ 83*

TABLE DES MATIÈRES 137*

30167. — Paris. Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.